

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ÉPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNÉE HUMAINE

THÈSE

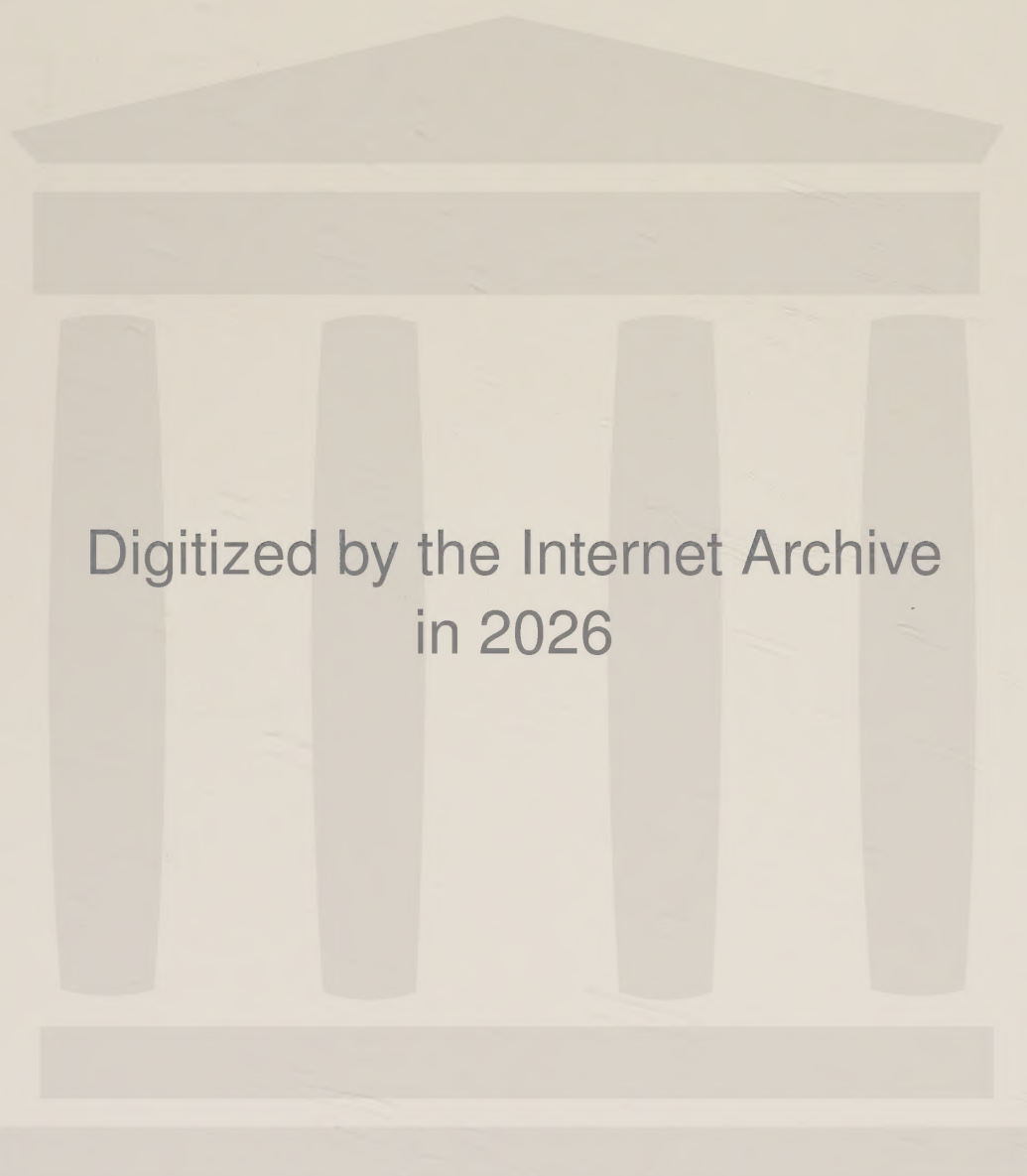
pour le Doctorat d'Etat en Médecine

Présentée et soutenue publiquement en Avril 1974

par

Jean-Marcel MAQUE

Membres du Jury	{	MM. F. DEODATI	<i>Président</i>
		R. HURON	{ <i>Assesseurs</i>
		P. BEC	
		J.-L. RUMEAU	
		M. FABIÉ	<i>Suppléant</i>



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546624_0013

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ÉPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNÉE HUMAINE

THÈSE

pour le Doctorat d'Etat en Médecine

Présentée et soutenue publiquement en Avril 1974

par

Jean-Marcel MAQUE

Membres du Jury	{	MM. F. DEODATI	<i>Président</i>
		R. HURON	{ <i>Assesseurs</i>
		P. BEC	
		J.-L. RUMEAU	
		M. FABIÉ	<i>Suppléant</i>

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE L'ÉPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNÉE HUMAINE

THÈSE

pour le Doctorat en Médecine



Présentée et soutenue publiquement le 10 mai 1974

Jean-Marcel MAGUE

Président

MM. E. GOURAT

Rapporteur

MM. J. TAYON
F. BEC
J.-L. JUMEAU

Membre du Jury

Opposant

M. FALIS

UNIVERSITE PAUL SABATIER

Président de l'Université
1^{er} Vice-Président
2^e Vice-Président

M. LARENG
M. MATHIS
M. MARTIN

TABEAU DU PERSONNEL

UNITES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE DES SCIENCES MEDICALES

Directeur de l'Unité des Sciences Médicales M. BOLLINELLI
Toulouse-Purpan
Directeur de l'Unité des Sciences Médicales M. ENJALBERT
Toulouse-Rangueil

HONORARIAT

Doyen honoraire M. CALVET
Doyen honoraire M. BRUSTIER
Doyen honoraire M. LAZORTHES

Professeur honoraire M. VALLOIS
Professeur honoraire M. TAPIE
Professeur honoraire M. DELAS
Professeur honoraire M. RISER
Professeur honoraire M. BUGNARD
Professeur honoraire M. VINCENT
Professeur honoraire M. MOREL
Professeur honoraire M. BOUISSET
Professeur honoraire M. CALMETTES
Professeur honoraire M. THOMAS
Professeur honoraire M. LAGROT
Professeur honoraire M. DESFORGES-MERIEL
Professeur honoraire M. FABRE P.
Professeur honoraire M. JAHIER
Professeur honoraire M. SENDRAIL
Professeur honoraire M. PONS
Professeur honoraire M. SOREL

PROFESSEURS

Clinique Médicale et Cardiologique	M. DARDENNE	Purpan
Clinique Médicale Sud	M. GADRAT	Purpan
Clinique Chirurgicale	M. GEDEON	Rangueil
Clinique Chirurgicale A et Gynécologie	M. POULHES	Rangueil
Clinique Chirurgicale B et du Cancer	M. GRIMOUD	Purpan
Clinique Chirurgicale Infantile et Orthopédie	M. PASQUIE	Purpan
Clinique Chirurgicale Orthopédique et Traumatologie	M. FICAT	Rangueil
Clinique de Chirurgie Cardio-vasculaire	M. ENJALBERT	Rangueil
Cliniques des Maladies Cutanées et Syphilitiques	M. BAZEX	Purpan
Clinique des Maladies des Voies urinaires	M. LHEZ	Rangueil
Cliniques des Maladies Infectieuses	M. ARMENGAUD	Purpan
Clinique Médicale Infantile A	M. DALOUS	Purpan

Clinique Médicale Infantile B	M. REGNIER	Purpan
Clinique de Neuro-Chirurgie	M. LAZORTHES G.	Rangueil
Clinique Neurologique et Psychiatrique	M. GERAUD	Rangueil
Clinique Obstétricale	M. PONTONNIER	Rangueil
Clinique Odonto-Stomatologique	M. CADENAT	Rangueil
Clinique Ophtalmologique	M. DEODATI	Rangueil
Clinique O.R.L. et Chirurgie maxillo-faciale	M. CLAUD	Rangueil
Clinique de Pneumo-phthisiologie	M. DELAUDE	Purpan
Clinique Rhumatologique	M. RUFFIE R.	Purpan
Accouchement et Obstétricie Sociale	M. MONROZIES	Purpan
Anatomie	M. BASTIDE	Purpan
Anatomie Pathologique	M. FABRE J.	Purpan
Anatomie Appliquée	M. JUSKIEWENSKI	Rangueil
Anesthésie et Réanimation	M. LARENG L.	Purpan
Bactériologie et Virologie	Mme ENJALBERT	Rangueil
Biophysique Médicale A	M. AUVERGNAT	Purpan
Biophysique Médicale B	M. BRU	Rangueil
Cardiologie Clinique et Expérimentale	M. CALAZEL	Rangueil
Biochimie Médicale	M. VALDIGUIF	Purpan
Electro-Radiologie	M. ROULLEAU	Rangueil
Embryologie Générale	M. BROUSSY J.	Purpan
Hématologie	M. BIERME	Rangueil
Histologie	M. BIMES	Rangueil
Hydrologie, Thérapeutique et Climatologie	M. DENARD	Purpan
Hygiène et Médecine Sociale	M. MONNIER	Purpan
Immunologie	M. DUCOS	Purpan
Médecine Légale et Médecine du Travail	M. GREZES-RUEFF	Purpan
Pathologie Chirurgicale	M. DAMBRIN	Purpan
Pathologie Générale et Médecine Expérimentale	M. BOULARD	Purpan
Pathologie Médicale	M. RIBAUT	Purpan
Physiologie	M. BESSOU	Purpan
Physiologie Appliquée et Pharmacologie	M. BAISET	Rangueil
Sémiologie et Clinique Médicale	M. LAPORTE J.	Purpan
Thérapeutique	M. DARNAUD	Rangueil

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

Anatomie Pathologique	M. BOUISSOU	Rangueil
Biochimie Médicale	M. DOUSTE-BLAZY	Rangueil
Dermatologie-Vénérologie	M. DUPRE	Rangueil
Histologie et Embryologie	M. GUILHEM	Rangueil
Histologie et Embryologie	M. PLANEL	Purpan
Neurologie et Neuro-Psychologie	M. RASCOL	Purpan
Physiologie et Pharmacologie	M. MONTASTRUC	Purpan
Pneumo-Phthisiologie	M. MIGUERES	Rangueil
Médecine Interne	M. LE TALLEC	Rangueil
Psychiatrie	M. GAYRAL	Purpan
Ophtalmologie	M. REC	Purpan

17-10-1991

Médecine Générale	M. ARLET	Rangueil
Neuro-Chirurgie	M. ESPAGNO J.	Purpan

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Anatomie Pathologique	M. FABRE Jean	Purpan
Bactériologie, Parasitologie, Virologie	Mme LARENG M.B.	Purpan
Biochimie Médicale	M. VALDIGUIE Pierre	Rangueil
Carcinologie	M. ESTRADÉ	Purpan
Chirurgie Générale	M. GAUBERT	Purpan
Chirurgie Générale	M. SARRAZIN	Rangueil
Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire	M. ESCHAPASSE	Purpan
Médecine Générale et Thérapeutique	M. BES	Rangueil
Médecine Générale et Thérapeutique	M. BOLLINELLI	Purpan
Médecine Générale Thérapeutique	M. SUC	Rangueil
Médecine Générale	M. RIBET	Rangueil
Physiologie	M. GERAL	Rangueil

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

Anatomie Pathologique	M. RUMEAU J.L.	Rangueil
Anesthésiologie	M. VIRENQUE C.	Rangueil
Bactériologie-Virologie	Mme DIDIER	Rangueil
Biophysique	M. REGIS	Rangueil
Biophysique	M. GUIRAUD R.	Purpan
Cancérologie	M. CARTON M.	Rangueil
Cardiologie	M. BERNADET	Rangueil
Cardiologie	M. BOUNHOURE	Rangueil
Chirurgie Générale	M. ESCAT J.	Rangueil
Chirurgie Générale	M. GOUZI	Rangueil
Chirurgie Générale	M. COSTAGLIOLA	Purpan
Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire	M. PUEL	Rangueil
Gynécologie et Obstétrique	M. PONTONNIER G.	Rangueil

Hépatogastro-Entérologie	M. PASCAL	Purpan
Histologie, Embryologie, Cytogénétique	M. SOLEILHAVOUP	Purpan
Médecine Interne	M. FEDOU R.	Purpan
Médecine du Travail	M. PUJOL M.	Purpan
Néphrologie	M. CONTE J.	Purpan
Neurochirurgie	M. LAZORTHES Y.	Rangueil
Neurologie	M. GUIRAUD-CHAUMEL	Purpan
O.R.L.	M. LACOMME	Purpan
Orthopédie, Traumatologie, Chirurgie	M. UTHEZA G.	Purpan
Plastique		
Parasitologie	M. LARROUY	Purpan
Pédiatrie Génétique Médicale	M. ROCHICCIOLI	Rangueil
Pneumo-Phtisiologie	M. ALBAREDE J.L.	Purpan
Pneumo-Phtisiologie	M. JOVER	Rangueil
Physiologie	M. PAGES B.	Purpan
Psychiatrie	M. MORON P.	Rangueil
Radiologie	M. COMBES P.	Purpan
Radiologie	M. PUTOIS	Purpan
Rhumatologie	M. FOURNIE A.	Purpan
Thérapeutique, Réanimation Médicale,	M. SALVADOR M.	Purpan
Rééducation fonctionnelle et Hydrologie		
Urologie	M. PONTONNIER F.	Purpan

AGREGES LIBRES

Chirurgie Générale	M. SOUQUET	Purpan
Pathologie Expérimentale	M. GLEIZES	Purpan
Obstétrique	M. ESPAGNO G.	Rangueil

ADMINISTRATION

Secrétaire Général de l'Université	M. PRINEAU
------------------------------------	------------

Liste arrêtée le 15.1.1974

Je dédie cette thèse :

A MON EPOUSE, A MA FILLE ISABELLE

A LA MEMOIRE DE MON PERE

A MA MERE

A MES BEAUX-PARENTS

A MA FAMILLE

A MES AMIS

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR DEODATI

Professeur de Clinique Ophtalmologique

Chirurgien des Hôpitaux

Chevalier de la Légion d'Honneur

Vous nous avez reçu dans votre
Service avec la plus grande bienveillance.

Votre exemple et votre enseignement
nous ont guidé dans nos études de spéciali-
sation.

Après nous avoir confié le sujet de
cette thèse, vous nous faites le grand
honneur de présider sa soutenance.

Veillez trouver ici le témoignage de
notre respectueuse admiration.

A NOTRE JURY DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR HURON

Professeur de Statistique à l'Université Paul Sabatier

Nous avons été touché par la
cordialité de votre accueil.

Nous vous remercions de l'aide si
précieuse que vous avez bien voulu nous
donner pour la rédaction de cette thèse.

Qu'il nous soit permis de vous exprimer
notre profonde gratitude.

MONSIEUR LE PROFESSEUR BEC

Professeur d'Ophtalmologie

Médecin des Hôpitaux

Nous avons eu la grande chance de
bénéficier de vos précieux conseils et de
votre grande expérience.

Nous avons été très sensible à l'aima-
ble sollicitude que vous n'avez cessé de
nous témoigner.

Nous vous assurons de notre vive
reconnaissance et de notre sincère atta-
chement.

•
MONSIEUR LE PROFESSEUR RUMEAU

Maître de Conférences Agrégé d'Anatomie Pathologique
Biologiste des Hôpitaux

Nous vous remercions de l'intérêt
que vous avez bien voulu porter à notre
travail et de la sympathie que vous nous
avez toujours témoignée.

Soyez assuré de notre fidèle reconnaissance.

MONSIEUR LE PROFESSEUR FABIE¹

Maître de Conférences Agrégé de Stomatologie

Nous sommes très touché de
l'honneur que vous nous faites en
acceptant de siéger parmi nos juges

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNEE HUMAINE

INTRODUCTION

La cornée représente la partie antérieure de la tunique fibreuse de l'oeil, prolongée en arrière par la sclérotique qui l'en- châsse comme un verre de montre. Elle est à la fois enveloppe résistante et milieu transparent.

Apparaissant légèrement elliptique à grand axe horizontal, elle a un diamètre moyen de 11,5 mm.

Sa surface est de $1,3 \text{ cm}^2$ seulement ; on peut y distinguer :

- une zone centrale, légèrement décalée en bas et en dedans, circulaire, de 4 mm de diamètre ; c'est la zone optique de la cornée, que traversent l'axe visuel et l'axe optique formant entre eux l'angle α ,
- et une zone périphérique, optiquement moins bonne, partiellement utilisable pour la vision en cas de mydriase.

Cette lame de substance transparente qu'est la cornée est comprise entre deux surfaces convexes en avant : la face antérieure, dont seule la partie centrale est parfaitement sphérique, a un rayon de courbure de 7,7 mm dans le sens vertical et de 7,8 mm dans le sens horizontal ; le rayon de courbure de la face postérieure est de 6,6 mm. Au niveau de la portion centrale, les courbures des deux faces sont sensiblement parallèles.

La cornée tire de cette disposition son rôle de lentille convergente, d'une puissance totale de 42 dioptries, contre 13 seulement au cristallin. Elle est donc l'élément essentiel de l'instrument dioptrique qu'est l'oeil.

Aisément accessible aux mensurations, elle a fait l'objet de nombreuses études de ses caractéristiques, et tout particulièrement de son épaisseur.

La connaissance de celle-ci revêt tout d'abord un intérêt anatomique évident.

Mais cet intérêt est également d'ordre optique et physiologique : il y a rapport étroit entre l'épaisseur de la cornée et son hydratation ; or cette dernière est elle-même en relation avec le métabolisme cornéen dont le ralentissement augmente l'épaisseur cornéenne par absorption d'eau, probablement en raison d'une gêne apportée à la circulation normale des métabolites ; il en découlera le plus souvent une altération de transparence, avec abaissement de l'acuité visuelle.

Les modifications d'épaisseur entraînées par la mise en contact de solutions hyper et hypotoniques ont confirmé que la cornée est une membrane perméable à l'eau, venue de l'extérieur comme de l'intérieur ; mais dans des conditions ordinaires, un mécanisme actif tend à garder constantes l'épaisseur et la transparence, en neutralisant la "pression de gonflement". Tant que l'épaisseur normale de la cornée est conservée, on peut conclure à un état satisfaisant de l'épithélium et surtout de l'endothélium, dont toute lésion se traduit par un gonflement.

La mesure de l'épaisseur cornéenne est ensuite d'un grand intérêt clinique et thérapeutique dans de nombreuses atteintes oculaires :

- elle montre l'évolution d'affections entraînant un épaississement de la cornée, telles les kératites, les iritis, les ulcères, les kératopathies bulleuses, les brûlures, les néovascularisations et pannus que précède un gonflement considérable mais qu'un traitement par la cortisone pourrait alors inhiber.
- elle permet de suivre l'amincissement progressif dans le kératocône, bien que la mesure soit gênée par un manque de parallélisme entre les deux faces. Si une thérapeutique chirurgicale s'avère nécessaire, elle indique la zone où la cornée retrouve une épaisseur sensiblement normale et donc la surface à donner au greffon.
- après opération de cataracte, elle montre un épaississement considérable durant les trois premiers jours, que suivra un retour vers la normale plus ou moins rapide selon l'importance des traumatismes opératoires de la chambre antérieure.

- dans les kératoplasties lamellaires, elle conduira à mettre en place un greffon dépassant l'épaisseur habituelle de 0,4 mm dans le cas où la cornée sera elle-même au delà des normes habituelles. Inversement, une mesure évitera que le trépan ne perfore une cornée anormalement mince.

Dans les suites de la greffe, la mesure de l'épaisseur à partir du 8ème jour fournira un élément de pronostic et fera craindre une maladie du greffon, annonce de son opacification probable, s'il y a épaissement brutal traduisant sa souffrance.

- elle montre les variations d'épaisseur dûes au port de lentilles de contact.

Les indications apportées par la mesure de l'épaisseur cornéenne sont donc d'une grande utilité pratique, pour la conduite à tenir face aux modifications constatées.

Cependant, avant de conclure que celles-ci sont d'ordre pathologique, il importe de connaître les limites à l'intérieur desquelles l'épaisseur cornéenne sera considérée comme normale, en tenant compte de variations pouvant être dûes au sexe, à l'âge, à la taille, à la réfraction, au tonus ou encore à l'oeil considéré, droit ou gauche.

L'objet de cette étude est de rechercher l'effet de ces divers facteurs sur la zone centrale de cornées normales, les variations d'épaisseur dans des cas pathologiques faisant l'objet d'autres investigations.

Pour y parvenir, nous avons soumis 130 personnes à des mesures et avons analysé statistiquement les résultats notés.

Notre étude commencera par faire l'historique des méthodes de mesuration employées par divers auteurs.

Nous décrivons ensuite le pachymètre de Haag-Streit que nous avons utilisé, et la technique d'examen suivie.

Puis nous exposerons les résultats obtenus, en fonction des

divers paramètres retenus, et les comparerons avec ceux qui ont été publiés par d'autres auteurs.

Nous terminerons enfin par un chapitre de conclusions.

HISTORIQUE

Le chirurgien français POURFOUR du PETIT (30) publia en 1723 le résultat de ses recherches sur l'épaisseur de la cornée, qu'il semble avoir été le premier à réaliser.

La valeur à laquelle il aboutit (0,4 mm) apparaît très basse si on la compare avec celles trouvées par la suite, et qui vont de 0,7 mm pour BREWSTER en 1819 à 1,19 mm pour HENLE en 1841, avec de nombreuses conclusions intermédiaires.

Mais ces mesures ont été effectuées sur des globes énucléés ; or après la mort, il se produit rapidement un gonflement cornéen par absorption d'eau, et qui va en augmentant pendant de nombreuses heures. On trouve là l'origine de ces résultats élevés, et aussi de leur variabilité, selon le délai écoulé depuis le décès.

Il importait donc, pour éliminer ces causes d'erreurs, de réaliser ces mesures sur des yeux vivants. BLIX y parvint en 1880.

Plusieurs types de procédés ont été employés depuis lors :

- 1) des procédés optiques,
- 2) des procédés photographiques,
- 3) l'utilisation d'un verre de contact.

L'échographie par ultrasons, très utilisée par ailleurs, ne permet pas de mesurer l'épaisseur cornéenne. Si en effet la réflexion des ondes par la surface antérieure de la cornée provoque un pic sur l'échogramme, il n'en va pas de même pour la surface postérieure car la vitesse des ultrasons est sensiblement la même dans la cornée et l'humeur aqueuse ; le second pic obtenu sera dès lors dû à la face antérieure du cristallin.

A - LES METHODES OPTIQUES

Un progrès très important a consisté à passer

- des méthodes successives, où la mise au point se faisait d'abord sur la face antérieure de la cornée, puis sur sa face postérieure.

- aux méthodes simultanées, où une mise au point unique permet de déterminer l'épaisseur.

a) Méthodes classiques, aujourd'hui abandonnées

BLIX (11) inventa en 1880 la première technique de mesure "in vivo".

Deux tubes de microscope placés horizontalement et comportant un système optique d'égale puissance convergeaient selon un angle de 40° ; ils étaient mobiles le long de la bissectrice de cet angle.

L'appareil était mis au point successivement sur la surface antérieure de la cornée, puis sur sa surface postérieure. La longueur du déplacement à effectuer entre ces deux opérations donnait l'épaisseur cornéenne apparente, à partir de laquelle BLIX calculait l'épaisseur réelle, en tenant compte du rayon de courbure et de l'indice de réfraction de la cornée.

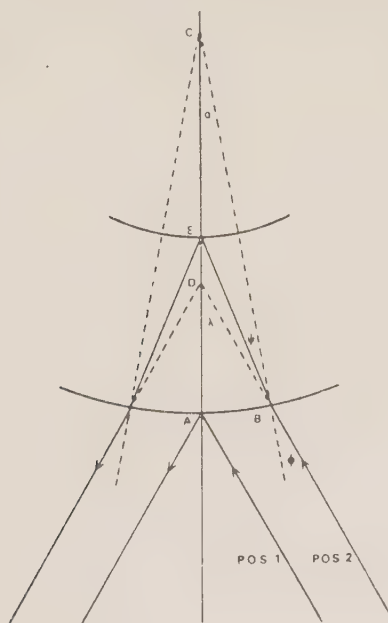


Figure 1 - BLIX : mises au point successives

- En position 1, le rayon lumineux tombe en A, sur la surface cornéenne antérieure, est réfléchi et vu dans l'autre microscope.
- Quand l'appareil est amené en position 2, le rayon tombe en B, est réfracté en E mais paraît venir de D. AD est l'épaisseur apparente ; AE l'épaisseur réelle.

Mais ce système nécessitait une immobilité absolue de l'oeil entre les deux mises au point ; les risques d'erreur étaient de ce fait très importantes, même avec des mouvements minimes.

GULLSTRAND (11) essaya d'éliminer cette source de difficulté. Il se servait également des reflets dûs aux surfaces cornéennes. Son appareil, comprenant deux lampes et un télescope, était précis mais extrêmement complexe ; les lectures étaient difficiles. Il fut peu utilisé, GULLSTRAND ayant mesuré l'épaisseur de deux cornées seulement.

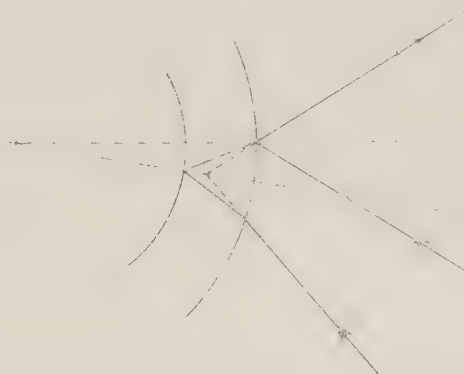


Figure 2 - Système optique de l'appareil de GULLSTRAND

Les mesures ont été grandement facilitées par l'invention de la lampe à fente en 1911, par GULLSTRAND, associant un microscope bino-culaire et une puissante source lumineuse. Le tambour d'ULBRICH permettait en effet de calculer l'épaisseur apparente en enregistrant la longueur du déplacement effectué entre deux mises au point, sur la face antérieure de la cornée tout d'abord, sur la face postérieure ensuite. Cette méthode fut utilisée par HARTINGER, FINCHAM et SOBANSKI.

JUILLERAT et KOBY (16-18-19) disposaient leur microscope parallèlement à l'axe optique de l'oeil, le rayon de la lampe à fente formant un angle de 45° avec cet axe. Grâce à un oculaire micrométrique, ils mesuraient l'épaisseur de la coupe optique de la cornée puis calculaient son épaisseur réelle.

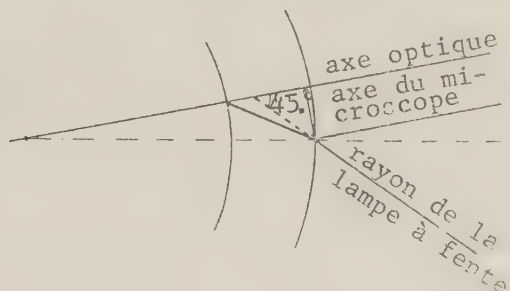


Figure 3 - Emploi de la lampe à fente par JUILLERAT et KOBY.

b) Méthodes modernes

Toutes les méthodes modernes utilisent une mise au point simultanée sur les surfaces antérieure et postérieure de la cornée ; elles sont mises en oeuvre au moyen d'appareils utilisés en tant qu'accessoires de lampes à fente, qui dédoublent l'image cornéenne obtenue. La lecture de l'épaisseur se fera par alignement de l'épithélium d'une demi-image sur l'endothélium de l'autre.

Parmi ces divers appareils, il faut retenir .

1. Le dédoubleur d'images de GOLDMANN, monté sur la lampe à fente HAAG-STREIT (10-20-25).

GOLDMANN semble avoir été le 1er à utiliser, dès 1932, un dédoubleur d'images pour la mesure de la profondeur de la chambre antérieure. Mais l'épaisseur de la section optique dessinée dans la cornée par le rayon de la lampe à fente peut également être déterminée, bien qu'aucune mesure n'ait été rapportée jusqu'à ce que WEEKERS, GRIETEN, LAVERGNE et KELECOM ne l'utilisent à cet effet après modifications, en 1961-1962.

La lentille d'un oculaire de HUYGEN était fendue en deux horizontalement et ces demi-lentilles se déplaçaient l'une contre l'autre.

Les images, séparées en deux moitiés, suivaient le même mouvement. On alignait l'endothélium de la moitié supérieure sur l'épithélium de la moitié inférieure et le déplacement ainsi provoqué des deux moitiés de la lentille permettait de calculer l'épaisseur cornéenne.

2. Le pachymètre de Von BAHR (2-3).

Gunnar Von BAHR a réalisé en 1948 un appareil basé sur le même principe que celui de BLIX, dont la technique semblait la meilleure sur le plan théorique, mais avec une mise au point simultanée sur les deux surfaces cornéennes, et non plus successive.

Il utilise à cet effet deux lames de verre épaisses de 1,3 mm mobiles symétriquement autour d'axes verticaux ; l'une est située en avant du dispositif d'illumination ; l'autre en avant du microscope d'observation. Les deux lames de verre ne couvrent que la moitié inférieure du système optique, de sorte qu'elles ne sont traversées que par les seuls rayons venant de cette moitié inférieure.

Lorsque les deux lames sont perpendiculaires aux rayons, en position zéro, elles n'en changent pas le trajet mais dès que les lames tournent, les rayons sont déviés parallèlement. On peut ainsi amener les reflets des faces antérieure et postérieure dans le même prolongement. L'angle de rotation nécessaire pour y parvenir est proportionnel à l'épaisseur apparente, qui permet de calculer l'épaisseur réelle, compte tenu de l'épaisseur de la lame de verre, du rayon de courbure cornéenne, de l'indice de réfraction de la cornée et du verre.

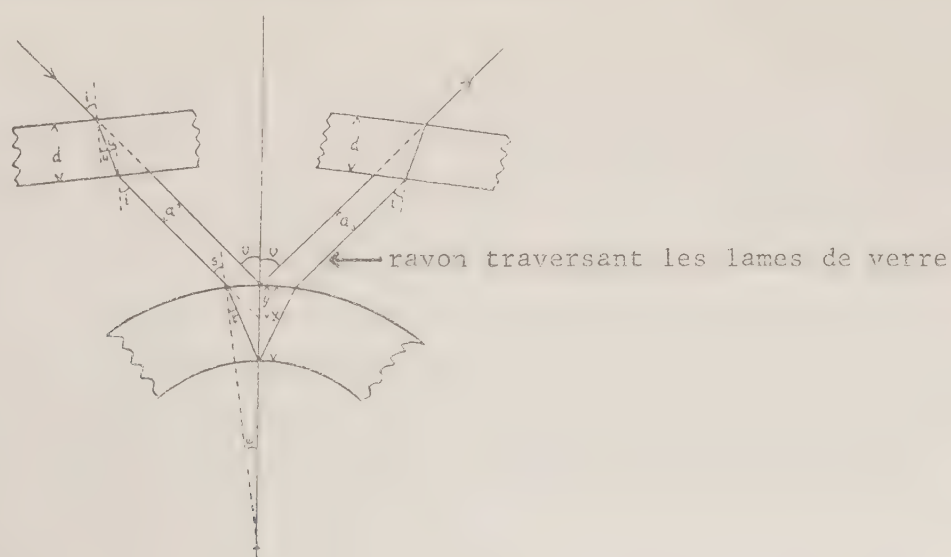


Figure 4 - Système optique de l'appareil de Von BAHR

Cette technique présente toutefois quelques inconvénients : on se trouve en présence de 8 images de la fente, d'où risques d'erreurs pour un observateur non entraîné ; le reflet postérieur est peu brillant et sera mal perçu en cas d'opacité ; une irrégularité de la surface cornéenne rendra les images réfléchies insuffisamment nettes.

3. Le pachymètre de MAURICE et GIARDINI (24).

Créé en 1951 comme accessoire de la première lampe à fente HAAG-STREIT et procédant du même principe que les appareils de BLIX et Von BAHR, il représente un net progrès dans la mesure de l'épaisseur cornéenne, qu'il simplifie et accélère.

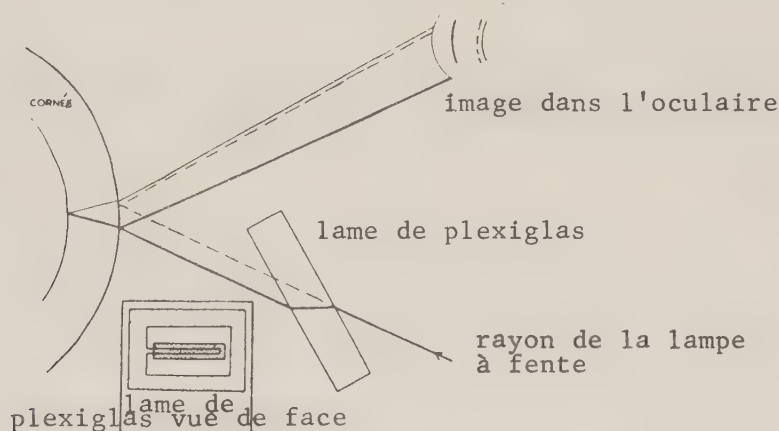


Figure 5 - Diagramme du trajet des rayons avec le pachymètre de MAURICE et GIARDINI
Lumière bleue représentée par les lignes brisées.

Les deux lames de verre en parallèle de Von BAHR sont ici remplacées par une lame unique en acrylique, épaisse de 6,35 mm, transparente et ayant le pouvoir de réfracter les rayons lumineux, placée entre la source lumineuse et la lentille de la lampe à fente. Cette lame est coupée en son milieu par une fente horizontale large de 1 mm, obturée par un mince film de cellulofid bleu que les rayons traversent sans déviation. Le dédoublement du trait lumineux émis par la lampe à fente, en deux faisceaux, l'un bleu foncé, l'autre jaune clair, sera obtenu par le déplacement d'un curseur mobile sur une échelle graduée horizontale,

qui permet de changer l'orientation de la lame de plexiglas et donc des rayons qui la traversent.

La mesure de l'épaisseur se fait après solidarisation du bras de la lampe à fente et du microscope à un angle de 60° . La mise au point sur une étroite bande de cornée fera voir dans le microscope deux sections optiques de la cornée : l'une jaune clair, se déplaçant avec le mouvement du curseur, l'autre bleu foncé, beaucoup moins nette, souvent réduite au reflet de l'épithélium et immobile. On amène à coïncidence le reflet clair endothélial avec le reflet bleu épithélial ; l'angle de rotation du curseur nécessaire à cette manoeuvre sera utilisé pour le calcul de l'épaisseur de la cornée. Il fallait en effet sur les premiers modèles de cet appareil employer une courbe de conversion pour déterminer la valeur en millimètres ; après perfectionnement, elle a pu être lue directement.

Les opérations de lecture se font rapidement et, selon BIETTI et GIARDINI, la précision est supérieure à 2 % si l'on retient la moyenne de 3 à 5 mesures.

Mais il faut noter que cet appareil ne peut se fixer que sur le premier modèle de la lampe à fente HAAG-STREIT, Il présente également l'inconvénient de s'interposer sur le trajet des rayons lumineux, ce qui nuit à la qualité de l'image cornéenne. Enfin le reflet bleu de l'épithélium soulève des difficultés par son manque de netteté ; cela est particulièrement gênant dans le cas d'altérations pathologiques de la cornée.

L'usage de cet appareil est donc réservé à des spécialistes particulièrement entraînés.

4. Le pachymètre de MISHIMA et HEDBYS (25).

MISHIMA et HEDBYS ont réalisé en 1962 un appareil utilisé de façon expérimentale, pour mesurer l'épaisseur de cornées plongées dans un fluide.

Il comporte une plaque de verre mobile placée en avant d'un oculaire de HUYGEN, de façon à intercepter la moitié supérieure de l'image

de la coupe optique de la cornée ; celle-ci se déplace si on fait tourner la plaque de verre. Ce mouvement permet d'aligner le reflet de l'endothélium de la moitié supérieure sur le reflet de l'épithélium de la moitié inférieure. L'angle de la rotation effectuée pour y parvenir permettra de connaître l'épaisseur cornéenne.

5. L'oculaire dédoubleur d'images de DONALDSON (10).

L'apparition d'une nouvelle lampe à fente HAAG-STREIT (HAAG-STREIT 900) a amené DONALDSON à créer un nouveau pachymètre qui y soit adaptable, pour succéder aux précédents seulement utilisables avec l'ancien modèle de lampe HAAG-STREIT.

L'appareil de DONALDSON utilise un oculaire de HUYGEN, dont la lentille est partagée horizontalement en deux moitiés, que l'on déplace simultanément et en sens opposé au moyen d'un micromètre, et dont chacune a le pouvoir de créer un effet prismatique horizontal.

Leur mouvement va ainsi dévier les deux moitiés de l'image cornéenne dans deux directions opposées. On le poursuit jusqu'à aligner les reflets de l'épithélium de la partie supérieure et de l'endothélium de la partie inférieure. Cela est facilité par un léger chevauchement, qu'amène l'emploi de deux "demi" lentilles un peu plus grandes qu'une simple moitié.

La valeur du déplacement est lue sur un cadran et l'épaisseur de la cornée, qui en est une valeur linéaire, sera connue au moyen d'une table de conversion.

Afin d'augmenter la précision de ses mesures, DONALDSON a ajouté deux petites lampes d'ophtalmoscope fixées juste au dessus et au dessous de l'objectif du microscope, fonctionnant au dixième de leur intensité normale. Lorsque leurs deux images, reflétées par la cornée, seront vues sur l'épithélium de la coupe optique cornéenne, la mesure effectuée sera correcte car le microscope de la lampe à fente sera alors perpendiculaire à la surface cornéenne.

6. Le pachymètre de CARDONA et de VOE (9).

Leur appareil emploie deux miroirs, dont l'un est mobile et permet de séparer l'image de la section optique cornéenne en deux moitiés, l'une supérieure et l'autre inférieure.

Ici encore, on alignera l'épithélium de la moitié supérieure avec l'endothélium de la moitié inférieure et, grâce à l'angle de rotation, on déterminera l'épaisseur de la cornée.

7. Le pachymètre HAAG-STREIT, que nous avons utilisé pour la présente étude, et auquel nous consacrerons un chapitre particulier.

B - LES METHODES PHOTOGRAPHIQUES

Il est maintenant possible, en utilisant un dispositif monté sur une lampe à fente, de photographier de façon très exacte une section optique de la cornée. Une règle micrométrique sera à son tour photographiée dans les mêmes conditions et le rapprochement des deux images donnera l'épaisseur cornéenne apparente, à partir de laquelle on pourra calculer l'épaisseur réelle.

Mais la mise en oeuvre de cette technique complexe est évidemment beaucoup moins rapide et moins aisée que l'emploi des appareils optiques ; de plus, le prix de revient en est assez élevé.

C - L'EMPLOI DU VERRE DE CONTACT POUR L'EVALUATION DE L'EPAISSEUR CORNEENNE (13).

L'américain B. FRIEDMAN a utilisé un verre de contact en plastique, dont la surface postérieure a un rayon de courbure de 7,80 mm ; le diamètre en est de 10 mm, ce qui autorise un ajustement précis sur le sommet de la cornée, sans gêne due à la périphérie, dont le rayon de courbure n'est pas identique.

La surface antérieure du verre se partage en trois zones concentriques, parallèles à la courbure postérieure et séparées par des marches

d'escalier de 0,2 mm. La partie périphérique a ainsi une épaisseur de 0,4 mm, contre 0,6 mm à la partie intermédiaire et 0,8 mm à la partie centrale.

Pour effectuer les mesures, on applique le verre de contact sur la cornée préalablement anesthésiée, la zone centrale se trouvant en regard de la pupille. La surface cornéenne sera mieux visualisée si l'on instille auparavant une goutte de fluorescéine, qui montrera l'importance de la couche de larmes interposée.

On oriente la lampe à fente à 45° , en donnant au rayon lumineux émis une luminosité maxima et une largeur minima. Une section optique se découpe dans le verre et la cornée ; on peut alors apprécier l'épaisseur cornéenne en la comparant avec celle des trois "marches" du verre de contact.



Figure 6 - Coupe du verre de contact montrant les marches d'escalier.

LE PACHYMETRE HAAG-STREIT

La Société Haag-Streit commercialise maintenant deux appareils de mesures en profondeur, adaptables sur son nouveau modèle de lampe à fente (modèle 900).

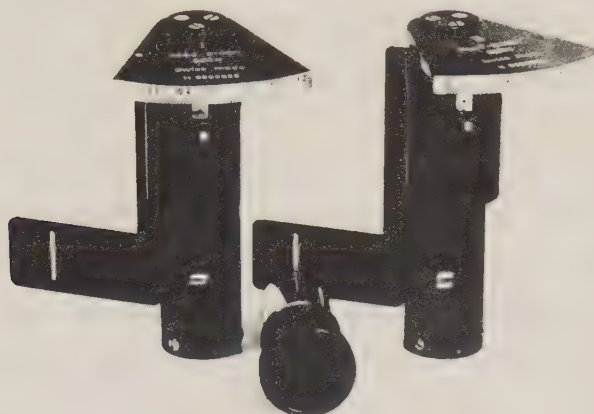


Figure 7 (tirée de R. WEEKERS, LENNES,
MARECHAL et J-F WEEKERS)

A gauche : Pachymètre cornéen (une graduation = 0,02 mm :
estimation possible : 0,01 mm).

A droite : Instrument pour la mesure de la profondeur de la
chambre antérieure (une graduation = 0,1 mm :
estimation possible : 0,05 mm).

Sur la photo, les deux instruments sont réglés pour la
mesure d'une épaisseur de 0,5 mm.

A côté du type II, prévu pour des mesures d'une profondeur maxima de 6 mm (et permettant donc la recherche de la profondeur de la chambre antérieure ou de l'épaisseur du cristallin), le type I, fabriqué depuis 1964, réalise des mesures dans une limite de 1,2 mm. Il est donc adapté à l'étude de l'épaisseur de la cornée et c'est celui que nous avons utilisé.

A - DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Description

Ce pachymètre type I comprend un support de fixation, un dispositif de mesure, un oculaire séparateur d'image 10 X et une table de correction est jointe.

Le support de fixation se visse sur la partie supérieure du microscope, après enlèvement de la vis qui s'y trouve, et peut y demeurer en permanence car il ne gêne en rien l'emploi normal de la lampe à fente ; de plus il permet la mise en place d'un appareil photographique.

Le dispositif de mesure, surmonté du secteur gradué pour la lecture des résultats, comporte deux lames de verre à faces parallèles, situées devant l'objectif du microscope droit et divisant horizontalement le faisceau lumineux en deux moitiés égales. La lame inférieure est fixe et forme un angle droit avec l'axe optique. La lame supérieure est mobile autour de l'axe vertical, sous l'action du curseur gradué.

Une large barre métallique prolonge horizontalement le dispositif de mesure sur sa gauche. Elle répond à 4 objectifs :

- garantir que les mesures d'épaisseur de la cornée ne pourront s'effectuer qu'en se plaçant à droite du rayon lumineux émis par la lampe à fente.
- obturer l'objectif de l'oculaire gauche de sorte que seul l'oculaire droit soit utilisable lors des mesures.
- garder constant l'angle d'observation de la cornée : le rayon lumineux issu de la lampe à fente et l'oculaire droit du microscope doivent former entre eux un angle de 40° ; celui-ci n'est obtenu que lorsque le faisceau de lumière passe au travers d'une étroite fente verticale que la barre métallique possède près de son extrémité. Il y a là un dispositif de contrôle qui avertit de toute modification de cet angle et permet d'y remédier rapidement.

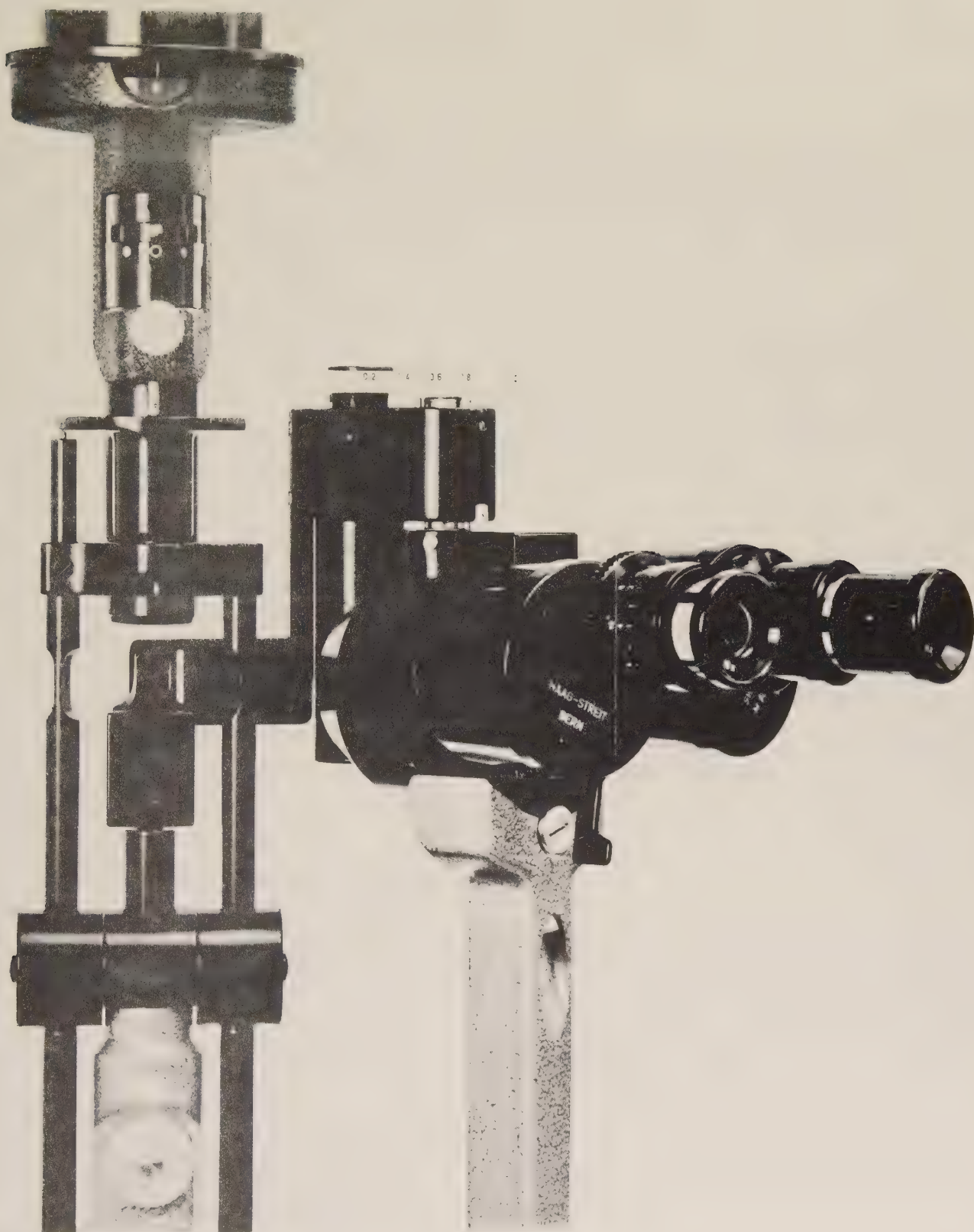


Figure 8 - Pachymètre mis en place sur la lampe à fente Haag-Streit 900

- améliorer la netteté de l'image car le faisceau lumineux s'amincit au passage de la fente et la profondeur du champ augmente.

L'oculaire séparateur d'image est utilisé en remplacement de l'oculaire droit normal du microscope. Grâce à un jeu de prismes, il sépare horizontalement l'image en deux moitiés, l'une supérieure et l'autre inférieure.

La table de correction permet de rectifier éventuellement l'épaisseur cornéenne notée à la lecture du secteur gradué, car celle-ci peut varier en fonction du rayon de courbure ; pour un même rayon, il faudra procéder ou non à une correction, selon que l'épaisseur apparente est plus ou moins importante.

L'angle de rotation de la lame de verre nécessaire pour aligner les reflets de l'épithélium et de l'endothélium a en effet été divisé en parties égales sur le secteur gradué ; or la relation unissant cet angle et l'épaisseur de la cornée n'est pas linéaire. Une rectification peut donc s'avérer nécessaire, selon les indications fournies par la table de correction. Mais cela est très rare, à moins que l'épaisseur ne s'écarte très sensiblement de la moyenne habituelle.

Principe de fonctionnement

La réalisation de cet appareil repose sur un principe semblable à celui décrit en 1952 par le Professeur W. JAEGER dans la revue "Graefes Archives für Ophtalmologie" pour la mesure de la profondeur de la chambre antérieure, et qu'avait auparavant indiqué Von BAHR en 1948.

Le mince rayon lumineux émis par la lampe à fente atteint la cornée perpendiculairement à sa surface et découpe un étroit parallélogramme, dont l'épaisseur apparente sera mesurée.

L'observation se fait par l'oculaire droit au microscope, sous un angle de 40° , à travers les deux lames de verre à faces parallèles intercalées. Les rayons traversant la lame inférieure, fixe et perpendiculaire à leur direction, se propagent sans subir la moindre déviation ;

CORRECTING TABLE for corneal thickness measuring attachment I												I
Scale reading	Corneal radius											
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
012	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
016	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001
020	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001
024	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001
028	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001
032	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001
036	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001
040	001	001	001	001	001	001	001	001	001	0	0	0
044	001	001	001	001	001	0	0	0	0	0	0	0
048	001	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
052	001	0	0	0	0	0	0	0	001	001	001	001
056	0	0	0	001	001	001	001	001	001	001	001	001
060	0	001	001	001	001	001	002	002	002	002	002	002
064	001	001	002	002	002	002	002	003	003	003	003	003
068	002	002	002	003	003	003	003	004	004	004	004	004
072	003	003	003	004	004	004	005	005	005	005	005	005
076	004	004	005	005	005	005	006	006	006	006	007	007
080	005	005	006	006	007	007	007	007	008	008	008	008
084	006	007	007	008	008	009	009	009	009	010	010	010
088	008	008	009	009	010	010	011	011	011	012	012	012
092	009	010	011	011	012	012	013	013	013	014	014	014
096	011	012	013	013	014	014	015	015	015	016	016	017
100	013	014	015	016	016	017	017	018	018	019	019	019
104	015	016	017	018	019	019	020	020	021	021	022	022
108	018	019	020	021	022	022	023	023	024	024	025	025
112	020	022	023	024	024	025	026	026	027	028	028	028
116	023	024	026	027	028	028	029	030	030	031	031	032
120	026	027	029	030	031	032	033	033	034	035	035	036
Real value = scale reading + correction. Red figures = negativ. *							HAAG - STREIT BERN					
The table is based on a refractive index of cornea of 1,376.												

* Les valeurs situées au-dessus du trait oblique seront soustraites ;
celles qui figurent au-dessous seront ajoutées.

Figure 9 - Table de correction de l'épaisseur cornéenne
à utiliser avec le Pachymètre Haag-Streit
de Type I.

leur image sera vue dans la partie inférieure du champ. Au contraire, ceux qui passent par la lame supérieure, orientable, peuvent être amenés à la traverser obliquement ; ils subiront alors les effets des propriétés optiques des lames à faces parallèles, se traduisant par un décalage qui varie selon l'angle d'incidence du rayon, l'indice de réfraction et l'épaisseur de la lame de verre ; leur image sera vue dans la partie supérieure du champ. L'oculaire séparateur d'images permet de diviser horizontalement ce champ en deux moitiés, supérieure et inférieure.

L'angle traduisant le déplacement qui sera imprimé à la lame de verre orientable pour aligner les images de l'endothélium de la partie supérieure et de l'épithélium de la partie inférieure indique l'épaisseur apparente de la section optique de la cornée.

Comment cela s'explique-t-il ?

Sur la figure 10, le rayon atteint la surface cornéenne antérieure au point A puis, poursuivant son parcours en ligne droite, la surface postérieure en B.

A et B émettent à leur tour des rayons lumineux, dont R1 et R2, qui sont vus dans l'oculaire droit du microscope.

Le trajet de R1, issu de A, est rectiligne. Par contre, le trajet de R2 qui commence dans le milieu cornéen, dont l'indice de réfraction est supérieur à celui de l'air, va être modifié, avant de devenir parallèle à celui de R1 dès sa rentrée dans l'air, en donnant alors l'impression d'être issu d'un point C, situé entre A et B sur la droite les unissant. L'épaisseur apparente de la cornée AC est donc inférieure à son épaisseur réelle AB ; elle pourra être connue si l'on mesure le décalage AD entre les deux rayons R1 et R2. Pour cela, on oriente la lame de verre supérieure du dispositif de mesure, mobile, de façon à aligner les reflets de l'endothélium supérieur et de l'épithélium inférieur. On a ainsi la valeur de AD puisque $AD = e \frac{n-1}{n} \sin c$

e représentant l'épaisseur de la lame de verre et n son indice de réfraction ; l'angle c est égal à l'angle b, que dessinent entre elles les deux lames de verre, puisqu'ils sont tous deux complémentaires d'un même angle ; la valeur de b pourrait être lue sur le secteur gradué.

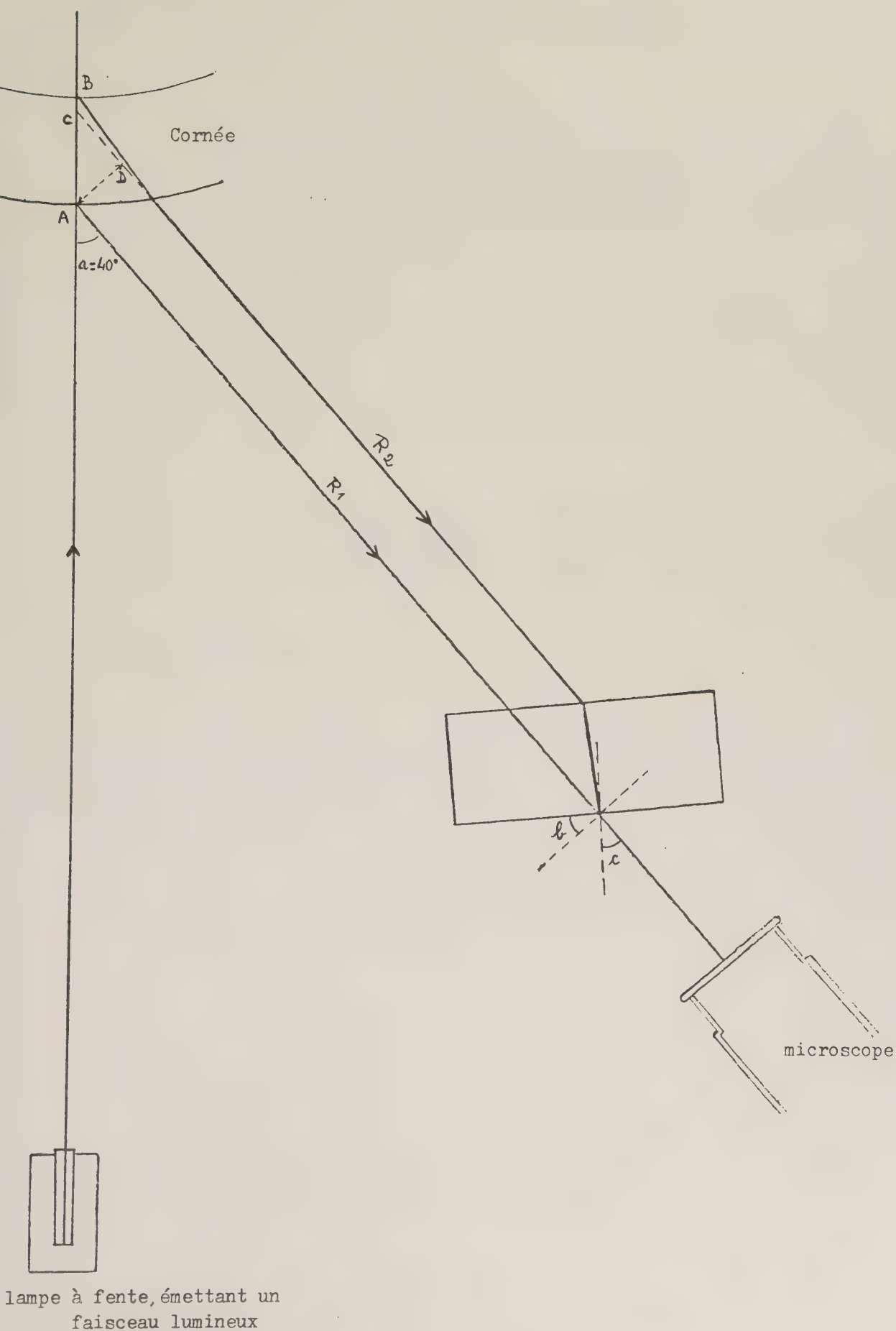


Figure 10 - Principe du Pachymètre Haag-Streit

AD étant connu, on obtiendra l'épaisseur apparente AC puis-
que $AC = \frac{AD}{\sin a}$

Pour en tirer l'épaisseur réelle AB, il faut faire jouer certains éléments qui sont cet angle a entre le rayon émis par la lampe à fente et l'oculaire droit du microscope, l'indice de réfraction de la cornée et son rayon de courbure.

L'angle a étant toujours égal à 40° et un indice de réfraction de 1,376 ayant été retenu, on a utilisé dans le dispositif de mesure des lames de verre d'épaisseur et d'indice de réfraction tels que l'on puisse lire sur le secteur gradué, non la valeur angulaire de b, mais l'épaisseur de la cornée par divisions de 0,02 mm.

Il suffira alors d'apporter éventuellement une modification à ce résultat compte tenu du rayon de courbure, par application de la table de correction, pour connaître l'épaisseur cornéenne réelle.

B - TECHNIQUE DE MESURE

Avant la mise en place du dispositif de mesure de l'épaisseur cornéenne, on procède au réglage de la lampe à fente Haag-Streit 900 au moyen de la tige spéciale à cet effet et l'on ajoute + 2,50Δ à ce résultat pour corriger le déséquilibre apporté par l'interposition des lames de verre à faces parallèles sur le trajet du rayon lumineux issu de la cornée ; l'oculaire séparateur sera orienté de façon à diviser horizontalement l'image observée.

Le microscope est toujours situé à la droite du système d'éclairage, quel que soit l'oeil examiné ; on les couple à 35° l'un de l'autre, de façon à obtenir un angle constant de 40° entre le microscope droit et le rayon émis par la lampe à fente. Ce réglage permet au rayon de traverser l'étroite fente verticale de la barre métallique prolongeant sur sa gauche le dispositif de mesure. L'observateur sera donc placé latéralement et à droite.

Le patient est prié de fixer le faisceau lumineux, ainsi dirigé perpendiculairement à sa cornée, et réduit au minimum permettant une

bonne vision de l'image cornéenne. Le contraste entre les deux faces de la cornée peut être augmenté en colorant le film lacrymal par l'instillation d'une goutte de 1.1.

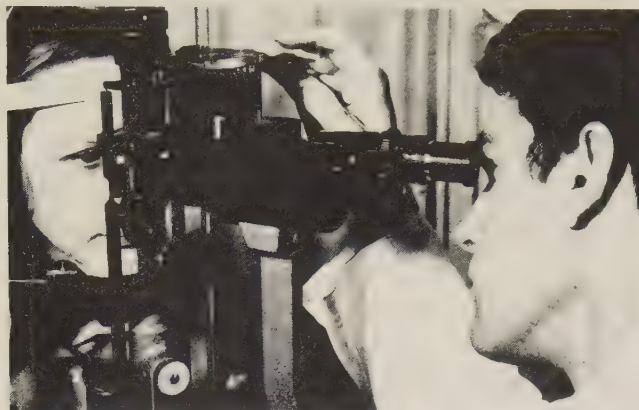


Figure 11 - Mesure de l'épaisseur de la cornée au moyen du pachymètre de Haag-Streit monté sur la lampe à fente 900.

Lorsque la mise au point est effectuée, on observe une image cornéenne normale et unique tant que l'on est en position zéro puisque les 2 lames de verre sont à ce moment perpendiculaires aux rayons venus de la cornée. Pour procéder à la mesure de l'épaisseur, on tourne vers la gauche le secteur gradué ; les deux moitiés de l'image paraissent alors se déplacer en sens inverse sur un plan horizontal. Ce mouvement est poursuivi jusqu'à ce que les reflets de l'endothélium supérieur et de l'épithélium inférieur se trouvent dans un prolongement exact. La lecture s'effectue sur l'échelle graduée ; l'opération est répétée à plusieurs reprises et on retient la moyenne des résultats obtenus ; puis, si nécessaire, on procède à une correction en fonction du rayon de courbure.

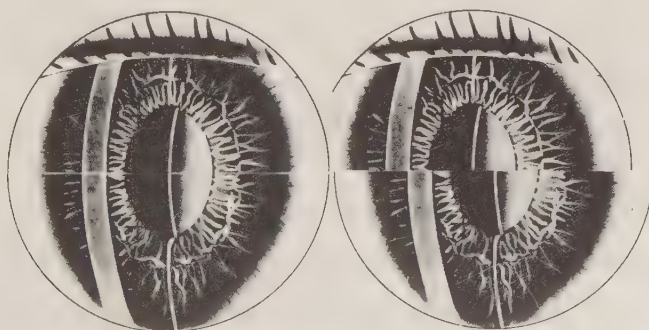


Figure 12 - Image de gauche : position zéro
Image de droite : position de lecture de l'épaisseur cornéenne

Afin d'éviter des erreurs de mesure, on veillera au respect de certaines recommandations :

- l'immobilité doit être observée par le patient. Mais elle n'est pas ici, au contraire des méthodes successives, une condition sine qua non de l'exactitude de la mesure. Si elle n'est pas respectée avec le pachymètre de Haag-Streit, c'est l'ensemble du parallélépipède découpé dans la cornée par le passage du rayon lumineux qui devient flou et une lecture précise devient impossible. Il reste alors à demander au patient de bien prendre appui avec le front et le menton, puis à refaire la mise au point.

- l'angle d'incidence du rayon de la lampe à fente avec la cornée.

L'épaisseur apparente de la section optique se modifie de façon importante selon l'angle que fait ce rayon avec la cornée. Pour illustrer ce fait, JUILLERAT et KOPY ont procédé à l'expérience suivante : ils ont envoyé, avec la plus faible incidence possible, un faisceau lumineux sur un globe de porc et trouvé une épaisseur cornéenne apparente de 0,396 mm ; ayant répété l'opération, mais cette fois avec la plus grande incidence acceptable, ils ont alors abouti à une épaisseur apparente de 0,900 mm.

Il faut donc tendre à ce que le rayon traverse perpendiculairement la cornée ; pour cela, on demande au patient de regarder directement la source lumineuse au moment où la mesure est faite.

On se heurte donc à une double limitation :

- * la précision de la mesure repose sur la bonne coopération des patients,
- * on peut seulement connaître l'épaisseur cornéenne le long de l'axe visuel ; dès qu'on s'en écarte, le facteur d'incertitude devient trop considérable et enlève toute rigueur à la mesure.

Pour remédier à ces deux lacunes, HEDBYS et MISHIMA ont apporté une modification au pachymètre Haag-Streit en lui adjoignant deux petites lampes grâce aux reflets desquelles ils s'assurent d'une part que le rayon de la lampe à fente est bien perpendiculaire à la cornée et peuvent d'autre part faire porter leurs recherches sur la cornée périphérique ou paracentrale.

Mais le pachymètre dont nous disposions n'était pas muni de cette amélioration. Nous avons donc mesuré uniquement l'épaisseur de la cornée centrale, le long de l'axe visuel.

- le centrage de la mesure.

La lecture de l'épaisseur doit se faire au centre de la cornée, qui est la seule partie pouvant être assimilée à une portion de sphère ; ceci est important puisqu'une éventuelle correction est basée sur le rayon de courbure.

La pupille sert de point de repère au centrage, qui sera moins précis en cas de mydriase.

En manoeuvrant le levier de commande de la lampe à fente, on situe la section optique au centre de la pupille, sur son axe midi - 6 heures ; puis sur l'axe horizontal, on divise l'aire pupillaire en deux moitiés en amenant sur l'axe 3h - 9h la ligne de partage des deux demi-lentilles de l'oculaire séparateur.

RESULTATS PERSONNELS

L'épaisseur centrale de la cornée a été mesurée sur 254 yeux appartenant à 130 personnes parmi lesquelles des étudiants, des membres du personnel hospitalier et, pour la plupart, des patients venus pour consultation à la Clinique Ophtalmologique du Centre Hospitalier Universitaire (Professeur DEODATI).

Cette étude porte uniquement sur des yeux apparemment normaux ; les sujets frappés d'affections oculaires susceptibles d'avoir entraîné une modification de l'épaisseur cornéenne ont été écartés, de même que les porteurs de lentilles de contact ; mais dans les cas d'atteinte unilatérale, tels des traumatismes, la cornée controlatérale a été retenue dans notre échantillon si elle était indemne : cela s'est produit chez 6 patients ; pour les 124 autres, l'examen a été bilatéral.

L'épaisseur de chaque cornée a été notée à 5 reprises consécutivement, en respectant les directives données par la Société HAAG-STREIT ; le résultat retenu en tant que valeur finale avant éventuelle correction est la moyenne arithmétique de ces 5 lectures.

La mesure du rayon de courbure centrale de la cornée a été effectuée avec un Ophtalmomètre HAAG-STREIT qui utilise les deux mires en escalier de JAVAL, différentes tant par leur forme que par leur couleur ; lorsque les bords des deux mires sont mis au contact et les deux lignes de foi transversales en prolongement, on connaît l'axe de l'astigmatisme et le rayon de courbure. Comme la section optique de la cornée, dessinée par le rayon lumineux de la lampe à fente pour en mesurer l'épaisseur, est une section verticale, nous avons retenu le rayon de courbure de ce même sens vertical.

La réfraction des patients a été déterminée, tandis qu'étaient notés leur sexe, leur âge, leur taille.

La pression intra-oculaire a été mesurée avec un tonomètre à aplanation.

L'effet de ces divers facteurs sur l'épaisseur centrale de la cornée a été ensuite recherché au moyen d'une analyse statistique.

Les moyennes arithmétiques des résultats (m), les écarts-types (s), les erreurs standard des moyennes (s_m) et les coefficients de corrélation (r) ont été calculés par ordinateur grâce à l'aide du Centre d'Application de la Statistique (C.A.S.) de l'Université Paul SABATIER, sous la direction du Professeur R. HURON.

- EPAISSEUR CENTRALE MOYENNE DE LA CORNEE (*)

Cette épaisseur centrale moyenne telle que nous l'avons déterminée est de 0,517 mm (exactement 0,51685) ; les valeurs extrêmes de notre échantillon allant de 0,463 mm pour la cornée la plus mince à 0,573 mm pour la plus épaisse.

La figure 13 constitue l'histogramme représentatif de la distribution des résultats de nos mesures.

L'allure générale de cet histogramme évoque une distribution gaussienne ; nous avons éprouvé cette hypothèse en utilisant la méthode des "probits".

Le tableau ci-après donne les éléments pour la détermination des probits d'après les tables. (x désigne le centre des classes d'épaisseur).

(*) La suite de l'étude montrera que l'on peut confondre dans un même échantillon des sujets différents par le sexe, l'âge, la réfraction, la taille, le rayon de courbure cornéenne et la pression intra-oculaire.

x	fréquence	fréquences cumulées	pourcentage	probits
0,460	2	2	0,79 %	2,57
0,470	6	8	3,54 %	3,19
0,480	14	22	8,66 %	3,64
0,490	17	39	15,35 %	3,98
0,500	21	60	23,62 %	4,28
0,510	36	96	37,80 %	4,69
0,520	65	161	63,39 %	5,34
0,530	63	224	88,19 %	6,18
0,540	24	248	97,64 %	6,97
0,550	4	252	99,21 %	7,34
0,560	1	253	99,61 %	7,36
0,570	1	254	100	

On sait que si la répartition peut être assimilée à une distribution de GAUSS, les points du diagramme (x, probits) sont sensiblement alignés. La figure 14 montre qu'il en est pratiquement ainsi.

D'ailleurs il n'est pas nécessaire pour notre étude, qui porte principalement sur des comparaisons de moyennes, d'avoir des populations initiales rigoureusement distribuées normalement.

L'écart-type de notre distribution est $s = 0,018$.

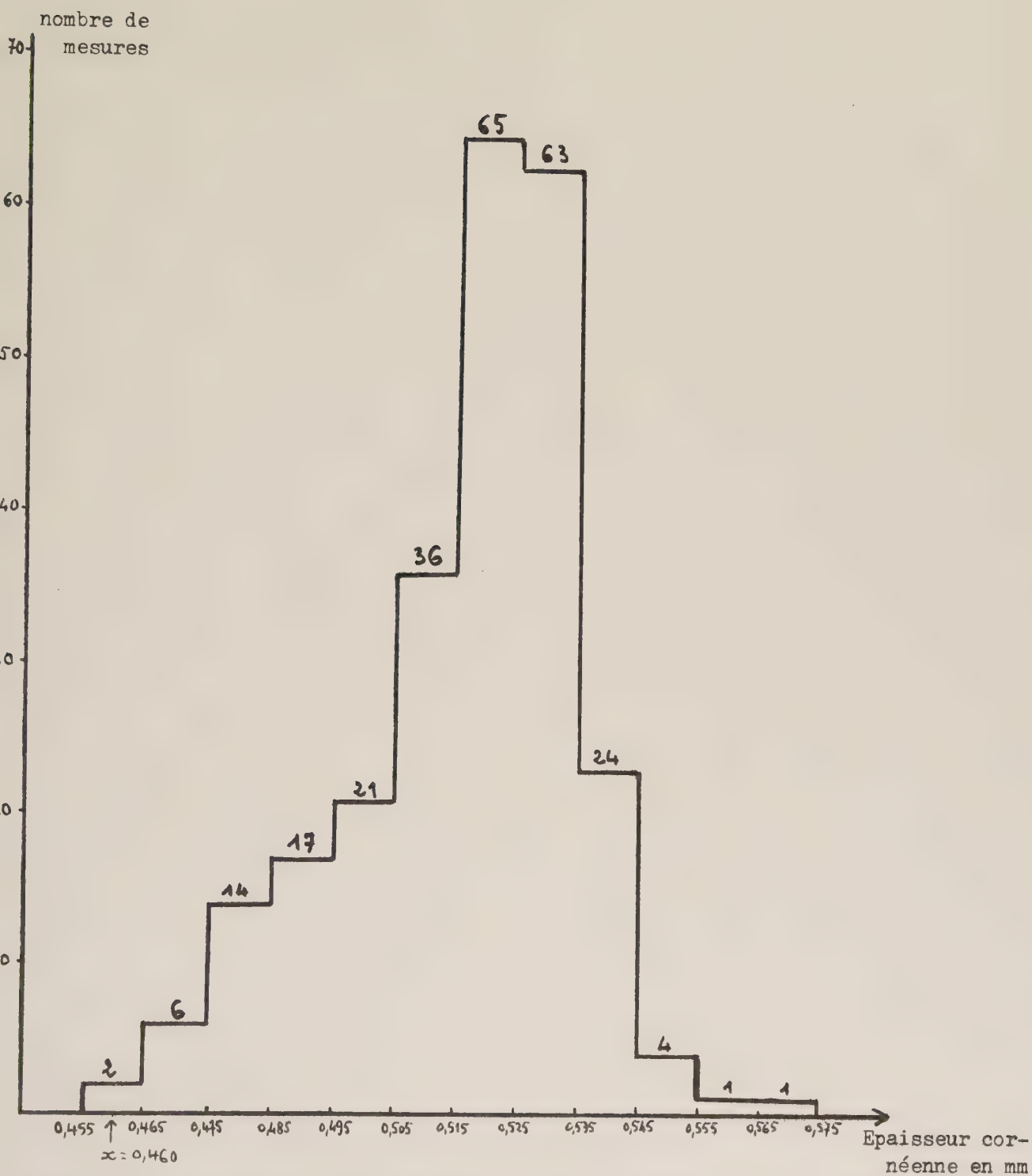
Pour une distribution normale, on sait que :

- 68,2 % des mesures sont comprises entre $m - s$ et $m + s$.

Ici, $m - s = 0,499$ mm

$m + s = 0,535$ mm.

On doit donc exclure 44 mesures inférieures à 0,499 mm et 30 supérieures à 0,535 mm, soit 74 au total. Les 180 autres, c'est-à-dire 70,86 % des mesures, se trouvent dans la zone d'épaisseur allant de $m - s$ à $m + s$.



Fréquence de distribution de l'épaisseur centrale mesurée sur 254 cornées

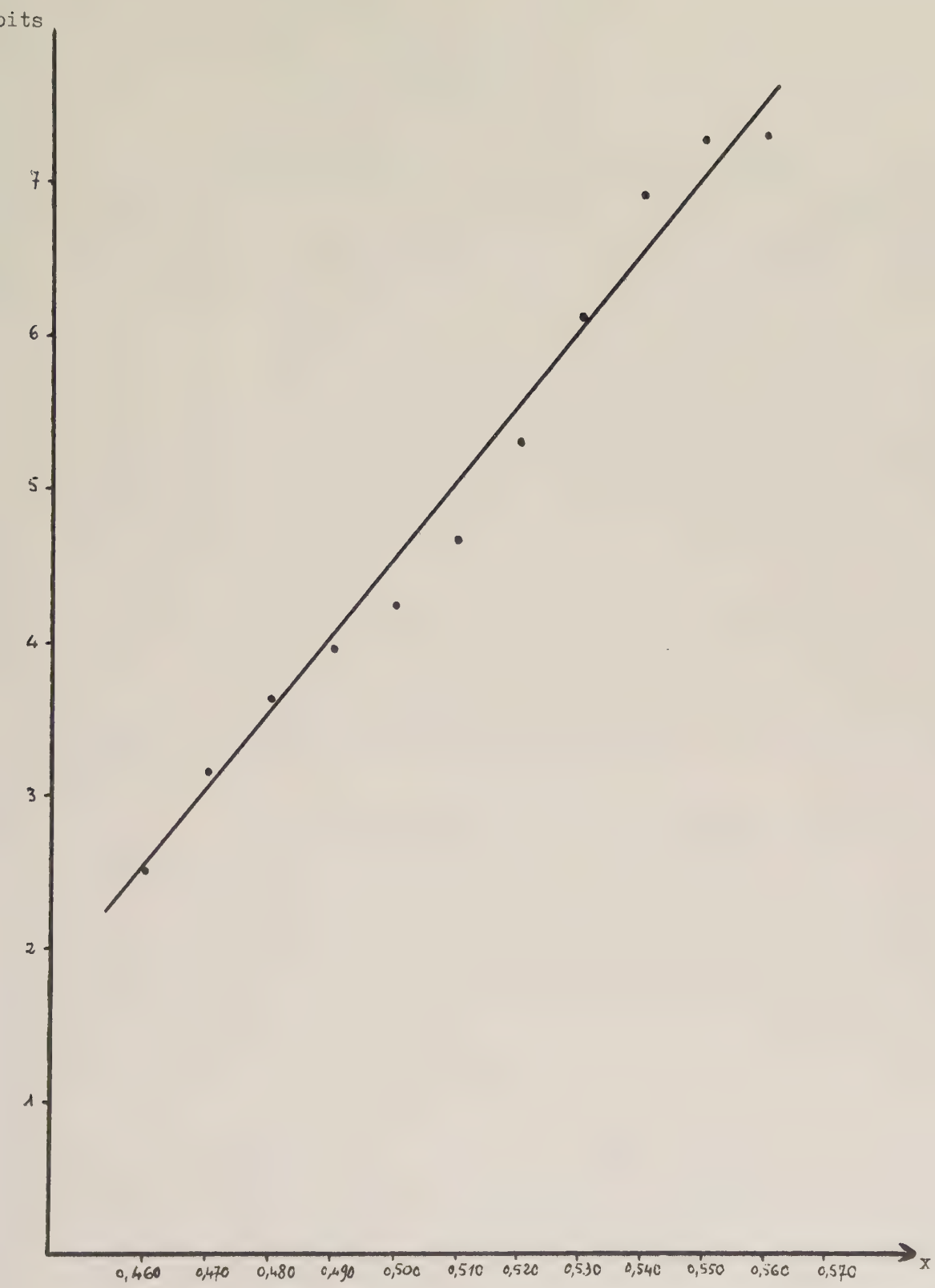


Fig I4

- 95,4 % des mesures sont comprises entre $m - 2 s$ et $m + 2s$.

Ici, $m - 2 s = 0,481 \text{ mm}$

$m + 2 s = 0,553 \text{ mm}$

Nous trouvons 238 mesures, soit 93,70 %, dans cet intervalle ; 16 en sont exclues : 14 sont inférieures à 0,481 mm, alors que deux seulement sont supérieures à 0,553 mm. Il y a là une légère dissymétrie qu'explique l'aspect de l'histogramme de distribution des épaisseurs (fig. 13).

L'erreur-standard de la moyenne s_m ($s_m = \frac{s}{\sqrt{n}}$; n = nombre de cornées mesurées) est égale à 0,0016. Si l'on mesurait à nouveau l'épaisseur centrale de ces mêmes 254 cornées, il y aurait 95 % de chances pour que l'on retrouve une moyenne égale à $m \pm 2 s_m$, c'est-à-dire comprise entre 0,514 et 0,520 mm.

Comparaison avec les résultats obtenus par différents auteurs :

L'épaisseur centrale de la cornée a été souvent étudiée, depuis les travaux de BLIX sur l'oeil vivant en 1880.

Les premières séries portaient généralement sur un nombre réduit de sujets.

BLIX mesura 10 yeux chez 8 personnes et trouva une moyenne de 0,541 mm, avec des épaisseurs allant de 0,506 mm à 0,576 mm, compte non tenu d'un patient réunissant des valeurs extrêmes avec 0,482 mm pour une cornée et 0,668 pour l'autre.

En 1909, GULLSTRAND obtint 0,46 mm et 0,51 mm sur 2 cornées.

KOBY aboutit en 1928 à une moyenne de 0,583 mm sur 20 yeux (dont l'épaisseur centrale cornéenne allait de 0,466 mm à 0,703 mm), contre 0,53 mm sur 12 yeux pour FINCHAM en 1930 (de 0,48 mm à 0,59 mm) et 0,53 mm sur 20 yeux pour SOBANSKI en 1934 (de 0,40 mm à 0,67 mm).

La plupart des études suivantes ont au contraire été faites sur des échantillons nettement plus importants.

En voici les données :

Auteurs	Année	Type de pachymètre utilisé	Nombre de cornées	m $\pm$ s
Von BAHR	1948	VON BAHR	224	0,565 $\pm$ 0,035
MAURICE et GIARDINI	1951	MAURICE - GIARDINI	44	0,507 $\pm$ 0,028
de LEONIBUS	1952	id	20	0,545 $\pm$ 0,033
SANTONI	1952	id	40	0,524 $\pm$ 0,026
SBORDONE	1953	id	10	0,513 $\pm$ 0,035
COOK et LANGHAM	1953	id	10	0,536 $\pm$ 0,04
LAVERGNE et KELECOM	1962	GOLDMANN	198	0,51 $\pm$ 0,04
DONALDSON	1966	DONALDSON	268	0,522 $\pm$ 0,041
MARTOLA et BAUM	1968	DONALDSON	209	0,523 $\pm$ 0,039
MISHIMA et HEDBYS	1968	HAAG-STREIT	40	0,518 $\pm$ 0,02
LOWE	1969	HAAG-STREIT	157	0,517 $\pm$ 0,034
TOMLINSON	1972	HAAG-STREIT modifié HEDBYS- MISHIMA	65	0,552 $\pm$ 0,039

Il ressort de ce tableau que les moyennes recueillies vont de 0,507 mm pour MAURICE et GIARDINI à 0,565 mm pour Von BAHR. Mais 8 de ces 12 résultats se situent entre 0,507 mm et 0,524 mm ; l'intervalle qui les sépare est donc assez réduit et notre moyenne ($m = 0,517$ mm) y prend place.

L'utilisation d'instruments de type différent étant susceptible d'être la cause des différences relevées, il est préférable de ne la comparer qu'avec les résultats également obtenus avec le pachymètre HAAG-STREIT.

On voit alors qu'elle est sensiblement égale à celles qu'ont indiquées MISHIMA et HEDBYS ($m = 0,518 \pm 0,020$ mm) et LOWE ($m = 0,517 \pm 0,034$ mm).

Elle est par contre assez éloignée de celle de TOMLINSON ($m = 0,552 \pm 0,039$), qui ne porte d'ailleurs que sur des yeux droits (35). Mais il existe à cela une explication, tenant à la différence de technique utilisée. Nous avons procédé à nos lectures à la façon de MISHIMA et HEDBYS ou de LOWE, en mettant dans un exact prolongement les images de l'endothélium supérieur et de l'épithélium inférieur. Au contraire, TOMLINSON a aligné les images de la face antérieure de l'épithélium inférieur et de la face postérieure de l'endothélium supérieur. Il mesure ainsi l'épaisseur cornéenne totale et non plus l'épaisseur du stroma comme l'ont fait les auteurs précédents : fig 15 :



Figure 15 : Images observées lors de la mesure de l'épaisseur cornéenne.

- a) mesure de l'épaisseur cornéenne totale
- b) mesure de l'épaisseur du stroma.

L'écart constaté d'avec l'épaisseur moyenne relevée par TOMLINSON paraît donc tenir essentiellement au choix de points de repère différents.

II - EPAISSEUR CENTRALE COMPAREE DES CORNEES DROITES ET GAUCHES

Notre moyenne est de $0,515 \pm 0,019$ mm pour les yeux droits ;
pour les yeux gauches, $m = 0,519 \pm 0,018$ mm.

Le coefficient de corrélation r (*) est égal à 0,903 ; il est donc très significatif, indiquant que l'épaisseur d'une cornée est liée à l'épaisseur de l'autre.

Par contre, la différence d'épaisseur moyenne entre les deux yeux n'est pas significative. Il faut toutefois noter que chez six patients, l'étude a porté sur un seul oeil, ce qui pourrait avoir légèrement affecté les termes de la comparaison ; chez les 124 autres personnes, l'examen a été bilatéral.

La cornée droite est apparue plus épaisse que la gauche chez 35 sujets, mais à l'inverse, elle a été plus mince chez 90 ; il y a eu 9 cas d'égalité.

Le tableau suivant détaille ces résultats :

	Cornée droite ⁺	Cornée Gauche ⁺	C D = C G	Totaux
Hommes	11	37	3	51
Femmes	14	53	6	73
Totaux	25	90	9	124

La comparaison de cette distribution chez les hommes et chez les femmes par le test du χ^2 donne $\chi^2 < 1$; elle n'est donc pas significative.

(*) Le coefficient de corrélation est un indice permettant de mesurer "l'intensité" de la liaison entre deux variables. On obtient toujours $-1 \leq r \leq 1$. Si $r = +1$, les deux grandeurs varient dans le même sens et sont liées par une relation linéaire ; si $r = -1$, elles varient en sens contraire mais sont encore liées par une relation linéaire. En général, dans les applications, $r = 0$ indique que la connaissance de l'une des deux variables n'apporte aucune information sur l'autre.

Mais si l'on analyse la répartition des cas où la cornée s'est avérée plus épaisse d'un côté que de l'autre, on constate par le test du signe que la prépondérance de la cornée gauche (90 fois sur 115 mesures utiles, les 9 cas d'égalité étant écartés) est significative.

Peut-on expliquer cette primauté ?

Des raisons anatomiques paraissent en être la cause ; elles reposent sur l'écart entre l'axe visuel de l'oeil et les axes pupillaire ou optique.

L'axe pupillaire est perpendiculaire au plan de la pupille et passe en son centre.

Il est extrêmement voisin de l'axe optique, constitué par la ligne joignant les centres de courbure des 4 dioptries de l'oeil :

- faces $\begin{matrix} \swarrow & \text{antérieure} & \searrow \\ & & \\ \swarrow & \text{postérieure} & \searrow \end{matrix}$ de la cornée

- faces $\begin{matrix} \swarrow & \text{antérieure} & \searrow \\ & & \\ \swarrow & \text{postérieure} & \searrow \end{matrix}$ du cristallin

Il passe par le pôle géométrique de l'oeil.

L'axe visuel, quant à lui, est défini par la ligne unissant le centre de la fovéa à l'objet fixé ; il s'écarte du pôle géométrique de l'oeil puisque le centre de la fovéa est situé à 1 mm en dehors de ce dernier.

L'axe visuel forme donc un angle avec l'axe pupillaire, l'angle κ , et un autre avec l'axe optique, l'angle α ; mais ces deux angles sont de valeur suffisamment proche pour être habituellement confondus : 5° en moyenne.

Des expériences ont montré à KRUSE HANSEN, qui utilisait le pachymètre HAAG-STREIT pour ses mesures, que si un sujet fixe à la

gauche de la lumière incidente, une épaisseur trop forte sera observée, et trop basse s'il fixe à la droite.

Or KRUSE HANSEN pense que l'angle kappa peut être considéré comme équivalent à un décentrage de la fixation. Comme l'axe optique ou pupillaire se trouve habituellement à la droite de l'axe visuel de l'oeil droit, et à sa gauche sur l'oeil gauche, il y aurait là l'explication de cette erreur systématique faisant apparaître la cornée gauche plus épaisse que la droite.

A l'échelon individuel, l'importance exacte de l'angle κ ou kappa est difficile à déterminer. Si cet angle est généralement positif (axe pupillaire ou optique en dehors de l'axe visuel), il peut au contraire être négatif.

Dans nos résultats, la cornée gauche apparaît plus épaisse que la droite dans un rapport de mesures significatif.

Comparaison avec les résultats obtenus par d'autres auteurs :

Von BAHR (3) aboutit également en 1948 à une différence entre les deux yeux mais dans ce cas, c'est la cornée droite qui s'avérait être la plus épaisse. Mais le principe de l'appareil qu'il avait construit est si différent de celui du pachymètre HAAG-STREIT qu'un parallèle n'est guère possible.

LAVERGNE et KELECOM (20) trouvèrent en 1962 une moyenne égale pour les deux cornées : 0,51 mm, tant à droite qu'à gauche.

Parmi les auteurs ayant utilisé le pachymètre HAAG-STREIT, MISHIMA et HEDBYS (26) ne notèrent en 1968 que des différences sans signification. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'ils avaient modifié leur instrument par adjonction de deux petites lumières destinées à garantir que le rayon de la lampe à fente tombe bien perpendiculairement à la cornée.

En 1971, KRUSE HANSEN (14) obtint des moyennes de $0,520 \pm 0,018$ mm pour 76 yeux droits et de $0,524 \pm 0,020$ mm pour 74 yeux gauches, donc

un peu plus élevées que les nôtres. Chez 37 personnes, la mesure fut bilatérale ; la cornée la plus épaisse fut 28 fois la gauche (75,60 %) et 3 fois la droite (8,10 %), avec 6 cas d'égalité (16,20 %).

Par comparaison, nos pourcentages ont été respectivement de 72,50 %, 20,20 % et 7,20 %.

III - EPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNEE SELON LE SEXE

Notre moyenne est un peu plus haute chez les hommes ($m = 0,519 \pm 0,019$ mm sur 107 cornées) que chez les femmes ($m = 0,515 \pm 0,018$ mm sur 147 cornées).

Cette différence est faible et un examen statistique montre que l'épaisseur n'est pas déterminée de façon significative par le sexe.

Comparaison avec les résultats obtenus par d'autres auteurs :

Aucun de ceux-ci n'a trouvé une influence significative liée au sexe :

	Nombre de mesures		Epaisseur moyenne	
	♂	♀	♂	♀
Von Bahr	112	112	0,565	0,564
Lavergne et Kélécom	105	93	0,51 $\pm 0,04$	0,50 $\pm 0,04$
Martola et Baum	98	111	0,530 $\pm 0,04$	0,517 $\pm 0,036$
Tomlinson			0,556 $\pm 0,022$	0,549 $\pm 0,044$
Kruse Hansen	40	36	0,519 $\pm 0,018$	0,520 $\pm 0,019$

BIETTI et GIARDINI (6), MISHIMA (25) ont abouti à une conclusion identique.

IV - EPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNEE SELON L'AGE

Nous avons réparti notre échantillon en 8 classes, en fonction de l'âge croissant des sujets :

Classe 1 : de 1 à 10 ans	8 patients	15 mesures
Classe 2 : de 11 à 20 ans	17 patients	32 mesures
" 3 : de 21 à 30 ans	33 "	65 "
" 4 : de 31 à 40 ans	29 "	57 "
" 5 : de 41 à 50 ans	14 "	28 "
" 6 : de 51 à 60 ans	12 "	24 "
" 7 : de 61 à 70 ans	10 "	19 "
" 8 : > 70 ans	7 "	14

Les résultats donnés par ces mesures sont les suivants :

	âge moyen	$m \pm s$	s_m
Classe 1	9 ans	$0,502 \pm 0,017$	0,0066
" 2	16,5	$0,508 \pm 0,024$	0,0058
" 3	25,3	$0,515 \pm 0,019$	0,0033
" 4	34,8	$0,523 \pm 0,015$	0,0028
" 5	46,3	$0,517 \pm 0,018$	0,0049
" 6	55,2	$0,523 \pm 0,012$	0,0028
" 7	66	$0,524 \pm 0,012$	0,0032
" 8	74,5	$0,515 \pm 0,019$	0,0072

La comparaison des moyennes de chacune des classes d'âge laisse supposer que l'épaisseur centrale irait croissant durant les premières décennies jusqu'à un maximum entre 31 et 40 ans, diminuerait entre 41 et 50 ans, augmenterait à nouveau entre 51 et 70 ans, pour diminuer enfin.

Il n'existe pas de différence significative entre les diverses classes.

Le coefficient de corrélation n'est significatif que pour la classe 2, où $r = + 0,78$. Il y a donc une relation positive très nette entre la croissance en âge et l'augmentation de l'épaisseur cornéenne durant cette période de 11 à 20 ans.

Comparaison avec les résultats d'autres auteurs :

Elle est gênée par le fait que chaque auteur a divisé son échantillon en classes d'âge dont les limites lui sont personnelles et qui ne concordent pas avec celles que les autres ont retenues.

Nous avons repris le découpage utilisé par MARTOLA et BAUM, en regroupant toutefois tous les sujets de plus de 70 ans ; KRUSE HANSEN a adopté des bases proches :

MARTOLA et BAUM			KRUSE HANSEN		
âge	m	n	âge	m	n
1 à 10 ans	0,504	7 cornées			
11 à 20 ans	0,507	30	10 à 19 ans	0,528	12 cornées
21 à 30 ans	0,532	17	20 à 29 ans	0,513	19
31 à 40 ans	0,534	17	30 à 39 ans	0,511	7
41 à 50 ans	0,519	28	40 à 49 ans	0,527	9
51 à 60 ans	0,540	41	50 à 59 ans	0,516	6
61 à 70 ans	0,518	24	60 à 69 ans	0,524	11
71 à 80 ans	0,518	39	70 et plus	0,525	12
81 à 90 ans	0,528	6			

LAVERGNE et KELECOM ont réuni leurs patients en 5 classes :

âge	m	n
10 à 24 ans	0,50	34 cornées
25 à 39 ans	0,52	49
40 à 54 ans	0,51	36
55 à 69 ans	0,50	64
70 ans et plus	0,52	15

Von BAHR (3) a trouvé pour sa part une épaisseur moyenne de 0,571 mm sur 28 cornées de sujets dépassant 65 ans, contre 0,559 sur 55 cornées de personnes de moins de 25 ans, mais cette différence n'est pas statistiquement significative.

Pour GIARDINI (6), la cornée serait plus épaisse chez les jeunes enfants : sa moyenne est de $0,574 \pm 0,029$ mm (avec épaisseur minima de 0,530 mm et maxima de 0,605 mm) chez 14 enfants de 4 à 6 ans.

Il ressort de cette comparaison que notre moyenne connaît une progression semblable à celle de MARTOLA et BAUM (23), mais moins rapide, ou à celle de LAVERGNE et KELECOM (20) jusqu'à environ 40 ans ; et inverse de celle de KRUSE HANSEN où un maximum de 10 à 19 ans est suivi d'une baisse prolongée.

Nous n'avons pas retrouvé, pas plus que MARTOLA et BAUM, cet épaississement vu par GIARDINI chez les jeunes enfants. KRUSE HANSEN, LAVERGNE et KELECOM n'ont apparemment pas procédé à des mesures sur des sujets de moins de 10 ans.

De 40 à 50 ans, nous notons un amincissement, de même que MARTOLA et BAUM ou LAVERGNE et KELECOM, mais au contraire de KRUSE HANSEN.

Les mêmes oppositions se remarquent pour les classes de 50 à 70 ans, dans un ordre différent.

Au delà de 70 ans, nous ne constatons pas cet épaississement signalé par Von BAHR, LAVERGNE et KELECOM (ou MARTOLA et BAUM après 80 ans) ; il faut toutefois relever qu'à ces âges les mesures portent sur un nombre réduit de cas.

Il semble donc que l'influence de l'âge sur l'épaisseur centrale de la cornée soit négligeable, dès la fin de l'adolescence tout au moins. La discordance des résultats publiés tend à le confirmer.

V - EPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNEE EN FONCTION DE LA REFRACTION

Nous avons regroupé les mesures recueillies en 3 catégories : l'une portant sur les yeux emmétropes, les autres sur les yeux atteints d'un vice de réfraction, myopie (de $-0,50 \Delta$ à $-14,50 \Delta$) et hypermétropie (de $+0,50 \Delta$ à $+5 \Delta$).

En cas d'astigmatisme, c'est la puissance de réfraction du méridien le plus réfringent qui a été retenue.

Nous avons ensuite subdivisé les 2 dernières catégories, selon l'amétropie croissante des sujets.

Le tableau suivant donne ces résultats :

	nombre de cornées	moyenne d'amétropie	épaisseur moyenne m	s	s _m
EMMETROPEs	110	-	0,517	0,020	0,0027
MYOPES	96	- 2,90	0,515	0,019	0,0028
de $-0,50$ à -2	48	- 0,97	0,515	0,022	0,0045
de $-2,25$ à -4	30	- 3,15	0,517	0,014	0,0035
de $-4,25$ à -6	4	- 5,50	0,512	0,022	0,0029
> -6	14	- 8,75	0,513	0,019	0,0069
$> -1,50$	60	- 4,21	0,514	0,019	0,0036
HYPERMETROPEs	48	+ 1,42	0,519	0,014	0,0028
de $+0,50$ à $+2$	40	+ 1,02	0,519	0,014	0,0030
de $+2,25$ à $+4$	6	+ 3,08	0,521	0,016	0,0027
$> +1,50$	19	+ 2,52	0,518	0,011	0,0032

Les moyennes d'épaisseur dans chacun des 3 groupes, que l'on considère la moyenne d'ensemble ou celle des subdivisions, sont donc très proches ; aucune de ces différences n'est statistiquement significative.

D'autre part le coefficient de corrélation est très faible pour le lot des 96 cornées de myopes et indique qu'il n'y a pas de liaison entre épaisseur centrale de la cornée et myopie. Il n'y a pas davantage relation entre l'épaisseur centrale et hypermétropie ; le coefficient de corrélation est un peu plus élevé que chez les myopes mais ici encore non significatif au seuil de 5 %.

Comparaison avec les résultats publiés :

L'éventuelle action des vices de réfraction sur l'épaisseur centrale de la cornée a été recherchée par divers auteurs, avec des conclusions souvent divergentes sur certains points.

Une influence de l'hypermétropie semble n'avoir jamais été affirmée.

Tel n'est pas le cas de la myopie, au moins quand elle est élevée.

Certes, LAVERGNE et KELECOM ne lui attribuent aucun effet mais leur moyenne inclut des yeux dont l'amétropie est faible ($-1,50 \Delta$). Par contre, chez 12 myopes supérieurs à -4Δ , Von BAHR trouva un amincissement net ($m = 0,524 \text{ mm}$) alors que dans 8 cas d'hypermétropie supérieure à $+3 \Delta$, l'épaisseur ($m = 0,565 \text{ mm}$) ne différait pas de celle qu'il avait notée chez 224 emmétropes. De même, SANTONI (33) vit un amincissement de la cornée dans les cas de myopie élevée: tableau page 43

Cela permettrait de conclure avec Von BAHR que l'amincissement de la coque fibreuse de l'oeil myope ne se limite pas à la partie postérieure ; elle atteindrait également la partie antérieure, y compris la cornée dans une plus faible mesure.

Mais à l'inverse de Von BAHR, MARTOLA et BAUM ont noté un épaissement chez 12 myopes supérieurs à -6Δ .

Les effets de la myopie sur l'épaisseur centrale de la cornée sont donc controversés. Pour notre part, nous n'en avons pas relevé.

	E M M E T R O P E S			M Y O P E S			H Y P E R M E T R O P E S			
	Nombre de cornées n	Epaisseur cornéenne moyenne m	n	Amétro- pie	Moyenne d'amé- tropie	m	n	Amétro- pie	Moyenne d'amétro- pie	m
LAVERGNE et KELECOM			38	de -1,50 à -20	-8	0,52	63	de +1,50 à +12	+4	0,52
Von BAHR	224	0,564	12	> -4		0,524	8	> +3		0,565
SANTONI et IUGLIO	34	0,510 ± 0,026	34	de -11 à -24	-17	0,482 ± 0,039	25	de +3,50 à +8	+5,50	0,508 [±] 0,04

VI - EPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNEE SELON LA TAILLE DES SUJETS

Une modification de l'épaisseur en fonction de la taille a été recherchée en comparant les moyennes des 4 groupes entre lesquels nous avons réparti nos patients selon leur stature croissante.

Taille	Nombre de cornées	Moyenne de la taille	Epaisseur moyenne	s	s _m
< 161 cm	80	155,3	0,516	0,018	0,0030
161 à 170 cm	99	165,5	0,520	0,017	0,0025
171 à 180 cm	52	174,4	0,519	0,017	0,0033
> 180 cm	8	182,2	0,510	0,024	0,0012

Les écarts entre les moyennes de chacun des groupes ne sont pas significatives ; ils sont d'ailleurs si faibles que l'on peut les tenir pour négligeables.

Le coefficient de corrélation n'est pas significatif pour les groupes 2, 3 et 4. Il l'est par contre pour le groupe 1 (taille < 161 cm) ; on peut penser que la présence parmi ceux qui y figurent de nombreux jeunes de 11 à 20 ans, pour lesquels nous avons vu qu'il y avait corrélation positive entre l'épaisseur cornéenne et l'âge, n'y est pas étrangère.

Comparaison avec les résultats d'autres auteurs

Kruse HANSEN semble avoir été le seul à procéder à des investigations sur l'effet de la taille.

Ses moyennes sont les suivantes :

	Nombre de cornées	Epaisseur moyenne
< 160 cm	7	0,530
160 à 169 cm	25	0,522
170 à 179 cm	26	0,522
≥ 180 cm	14	0,508

Il note également un amincissement, plus marqué que le nôtre, au dessus de 1,80 m.

Les observations sont encore semblables pour les tailles allant de 1,61 à 1,80 m.

A l'inverse de nos résultats, il trouve un épaississement au dessous de 1,60 m, obtenu toutefois après qu'il ait éliminé de son échantillon tous les sujets de moins de 14 ans. Mais cette différence était prévisible, puisqu'elle recoupe dans une large mesure celle que nous avons constatée en étudiant les effets de l'âge, dans la classe de 11 à 20 ans.

VII - EPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNEE ET RAYON DE COURBURE CENTRAL

Les mesures ont été analysées après que les patients aient été divisés en 3 groupes de rayon de courbure croissant :

	n	Moyenne du rayon de courbure	m	s	sm
< 7,61 mm	71	7,49	0,515	0,016	0,0027
de 7,61 à 7,85 mm	92	7,72	0,517	0,020	0,0029
> 7,85 mm	91	8,01	0,518	0,019	0,0028

L'épaisseur est sensiblement égale dans les 3 cas ; aucune des différences n'est significative.

Le coefficient de corrélation ne l'est pas davantage.

Comparaison avec les résultats d'autres auteurs

TOMLINSON (35) indique n'avoir pas trouvé de relation entre les deux variables.

Il en est de même pour Kruse HANSEN, et pour LOWE (22) qui note un coefficient de corrélation de -0,0356, non significatif.

VIII - EPAISSEUR CENTRALE DE LA CORNEE ET PRESSION INTRA-OCULAIRE

Tous les sujets que nous avons conservés dans notre échantillon avaient une pression intra-oculaire normale, allant de 9 à 19 mm Hg, avec une moyenne de $13,6 \pm 1,9$ mm Hg.

	Tonus moyen	Ecart-type de la moyenne du tonus	m	s	sm	r
Oeil droit	13,45	1,82	0,515	0,019	0,0017	0,286
Oeil gauche	13,82	1,99	0,519	0,018	0,0016	0,393

Le coefficient de corrélation r est significatif. On constate donc que l'augmentation de l'épaisseur centrale de la cornée et l'élévation de la pression intra-oculaire sont concomitantes et de même sens.

Comparaison avec les résultats publiés par d'autres auteurs

Kruse HANSEN a recherché cette corrélation sur 76 yeux droits de pression intra-oculaire normale s'étageant de 8 à 18 mm Hg ; la moyenne s'établissant à $13,7 \pm 2,1$ mm Hg.

Son analyse de régression linéaire lui montra que la relation entre les deux variables était positive et significative ($P < 0,001$).

CONCLUSIONS

A l'occasion de notre étude concernant l'épaisseur de la cornée chez le sujet normal, et après avoir montré l'intérêt de la connaissance de cette valeur à la partie centrale, nous avons fait une revue critique des différents appareils de mesure. Aux premiers, basés sur la méthode de mise au point successive sur la face antérieure puis sur la face postérieure de la cornée qui introduisait de gros risques d'erreur, ont succédé des instruments où la mise au point sur l'ensemble de l'image cornéenne se fait en une seule fois.

Nous avons utilisé le pachymètre Haag-Streit, d'un maniement simple, permettant une lecture rapide et précise.

Nos mesures ont porté sur 254 cornées, chez 130 patients indemnes d'affections oculaires.

Nous avons constaté que la répartition des épaisseurs centrales est assimilable à une distribution gaussienne.

L'épaisseur moyenne est, selon nos observations, de $0,517 \pm 0,018$ mm. La cornée droite semble légèrement plus mince que la gauche ; l'existence de l'angle kappa en est la cause.

Le sexe, l'état de la réfraction, le rayon de courbure centrale ne nous ont pas paru avoir d'influence particulière.

Il en est de même pour l'âge au delà de 20 ans et la taille au dessus de 1,60 m.

Il existe enfin une corrélation positive entre l'augmentation de l'épaisseur et l'élévation de la pression intra-oculaire lorsque celle-ci se situe dans les limites normales.

L'ensemble de ces constatations vient dans une très large mesure confirmer les résultats publiés par divers auteurs. Il apparaît donc que l'épaisseur centrale de la cornée non pathologique est une donnée biologique relativement stable.

Vu et approuvé

Le Président du Jury

Professeur F. DEODATI

Vu et permis d'imprimer

Le Président de l'Université
Paul Sabatier

Professeur L. LARENG

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ARNER R.S. et RENGSTORFF R.H. : Error analysis of corneal thickness measurements.
American Journal of Optometry, Oct. 1972 - vol 49 - n°10.
- 2 - BAHR G. Von : Measurements of the thickness of the cornea.
Acta Ophtalmologica - 1948 - 26 - p 247-265.
- 3 - BAHR G. Von : Corneal thickness : its measurements and changes.
American Journal of Ophtalmology - Août 1956 - 42 - n°2 - p 251-266.
- 4 - BECHAC G. : Contribution à l'étude de la profondeur de la chambre antérieure (Variations physiologiques et au cours des amétropies). Thèse Toulouse 1957.
- 5 - BECHETOILLE A. et SARAUX H. : Biométrie oculaire ultrasonique. Etude de 100 yeux appartenant à une population homogène jeune.
Annales d'Oculistique, Paris 1970 - T 203 - n°2 - p 131-149.
- 6 - BIETTI et GIARDINI : La mesure de l'épaisseur de la cornée : ses résultats dans le domaine clinique et expérimental.
Année Thérapeutique, 1955 - 6 - p 187-204.
- 7 - BONAMOUR G. et BONNET Mireille : La cornée : méthodes d'examen et sémiologie générale.
Encyclopédie Médico-Chirurgicale, 1963 - 21200 AIO.
- 8 - CAMPINCHI R. et HAYE C. : Le kératocône.
Rapport à la Société Française d'Ophtalmologie de Paris, 1962.
- 9 - CARDONA H. et De VOE A.G. : New pachometer to measure corneal thickness.
American Journal of Ophtalmology, Juillet 1971 - 72 - n°1 - p 127-130.
- 10 - DONALDSON D.D. : A new instrument for the measurement of corneal thickness.
Arch Ophtal Chicago, Juillet 1966 - vol 76 - n°1 - p 25-31.
- 11 - EHLERS N. et HANSEN F.K. : On the optical measurement of corneal thickness.
Acta Ophtalmologica, 1971 - 49 - n°1 - p 65-81.
- 12 - ETIENNE R. : L'oeil, instrument d'optique.
Conférences Lyonnaises d'Ophtalmologie, 1957 - n°32.
- 13 - FRIEDMAN B. : A contact lens for estimating corneal thickness.
Eye, ear, nose, Thr Monthly, 1967, 46 - 3 - p 344-345.

- 14 - HANSEN F.K. : A clinical study of the normal human central corneal thickness.
Acta Ophthalmologica, 1971 - 49 - n°1 - p 82-89.
- 15 - HONEGGER H. et GENEE E. : Hornhautdickenmessung. Ein Vergleich verschiedener Geräte.
Albrecht Von Graefes Arch klin Exper Ophtal, 1968 - 174 - n°3 - p 262-270.
- 16 - JUILLERAT et KOBY F.E. : Détermination de l'épaisseur de la cornée sur le vivant au moyen de la lampe à fente.
Revue Générale d'Ophtalmologie, Paris 1928 - 42 - p 203-227.
- 17 - KALBERER M., WALZ D. et GRUN F. : Studien über optische Methoden zur Bestimmung von Hornhautdicken.
Von Graefes Arch Ophtal 1965 - 168 - n°1 - p 17-32.
- 18 - KOBY F.E. : De l'épaisseur, mesurée sur le vivant, des parties centrales de la cornée.
Revue Générale d'Ophtalmologie Paris 1928 - 42 - 293-296.
- 19 - KOBY F.E. : A propos de l'épaisseur de la cornée vivante.
Revue Générale d'Ophtalmologie Paris 1930 - 44 - p 222-225.
- 20 - LAVERGNE G. et KELECOM J. : Applications cliniques de la mesure de l'épaisseur de la cornée.
Bulletin de la Société Belge d'Ophtalmologie 1962 - n°131 - p 323-334.
- 21 - LOWE R.F. : New instruments for measuring anterior chamber depth and corneal thickness.
American Journal of Ophtalmology Juillet 1966 - 62 - n°1 - p 7-11.
- 22 - LOWE R.F. : Central corneal thickness : ocular correlations in normal eyes and those with primary angle-closure glaucoma.
Britisch Journal of Ophtalmology 1969 - 53 - p 824-827.
- 23 - MARTOLA E.L. et BAUM J.L. : Central and peripheral corneal thickness.
Arch Ophtal Chicago Janvier 1968 - 79 - n°1 - p 28-30.
- 24 - MAURICE D.M. et GIARDINI A.A. : A simple optical apparatus for measuring the corneal thickness and the average thickness of the human cornea.
Britisch Journal of Ophtalmology 1951 - 35 - p 169-171.
- 25 - MISHIMA S. : Corneal thickness.
Survey of Ophtalmology 1968 - 13 - 2 - p 57-96.
- 26 - MISHIMA S. et HEDBYS B.O. : Measurement of corneal thickness with the Haag-Streit pachometer.
Arch Ophtal Chicago 1968 - 80 - p 710-713.
- 27 - MUELENAERE H. de : Les amétropies.
Bulletin de la Société Belge d'Ophtalmologie 1970 - 154 - 1 - p 5-374.

- 28 - PAYCHA F.C. : Méthode de mesure de l'épaisseur de la cornée.
Arch Ophtal 1953 - 13 - p 156-158.
- 29 - PAYRAU P., POULIQUEN Y., FAURE J-P., OFFRET G. : La transparence
de la cornée. Les mécanismes de ses altérations.
Rapport de la Société Française d'Ophtalmologie 1967.
- 30 - PETIT J-L. : Mémoire sur les yeux gelés dans lesquels on déter-
mine la grandeur des chambres qui renferment l'humeur
aqueuse.
Mémoire à l'Académie des Sciences de Paris 1723.
- 31 - POULIQUEN Y. : Anatomie et structure fine de la cornée humaine
normale.
Encyclopédie Médico-Chirurgicale 21003 A 10.
- 32 - RENARD G., LEMASSON C. et SARAUX H. : Anatomie de l'oeil et de
ses annexes.
1965.
- 33 - SANTONI A. et IUGLIO N. : Ulteriori ricerche sullo spessore
della cornea in casi di ametropia elevata.
Annali di Ottalmologia e Clinica Oculistica 1971 - 97 -
3 - p 78-81.
- 34 - SEDAN J. et FARNARIER G. : Techniques modernes d'investigations
en ophtalmologie.
1961.
- 35 - TOMLINSON A. : A clinical study of the central and peripheral
thickness and curvature of the human cornea.
Acta Ophtalmologica 1972 - 50 - n°1 - p 73-82.
- 36 - WEEKERS R., LENNES G., MARECHAL Ch. et WEEKERS J-F. : Mesure de
l'épaisseur de la cornée. Résultats chez le sujet normal
et applications cliniques.
Archives d'Ophtalmologie Paris Juin Juillet 1971 - T 31 -
n° 6-7 - p 529-538.

Nous remercions les Laboratoires CHIBRET pour l'aide qu'ils nous ont
si aimablement apportée lors de nos recherches bibliographiques.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Historique	5
A/ Méthodes optiques	6
B/ Méthodes photographiques	13
C/ Emploi du verre de contact	13
CHAPITRE II : Le pachymètre Haag-Streit	15
A/ Description et principe de fonctionnement	16
B/ Technique de mesure	22
CHAPITRE III : Résultats personnels	26
1 - Epaisseur centrale moyenne de la cornée	27
2 - Epaisseur centrale comparée des cornées droites et gauches	34
3 - Epaisseur centrale de la cornée selon le sexe ...	37
4 - Epaisseur centrale de la cornée selon l'âge	38
5 - Epaisseur centrale de la cornée selon la réfraction	41
6 - Epaisseur centrale de la cornée selon la taille des sujets	44
7 - Epaisseur centrale de la cornée et rayon de courbure central	45
8 - Epaisseur centrale de la cornée et pression intra-oculaire	46
CONCLUSIONS	48
BIBLIOGRAPHIE	50

